



Effets de litières sur l'offre en azote d'origine organique dans des systèmes de culture de maïs à couvertures végétales Etude de cas dans la zone à forêt semi-décidue de Côte d'Ivoire

Patrice Autfray

► To cite this version:

Patrice Autfray. Effets de litières sur l'offre en azote d'origine organique dans des systèmes de culture de maïs à couvertures végétales Etude de cas dans la zone à forêt semi-décidue de Côte d'Ivoire. Agronomie. Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc, 2002. Français. NNT : . tel-00825211

HAL Id: tel-00825211

<https://theses.hal.science/tel-00825211>

Submitted on 23 May 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Ministère de l'Agriculture
Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier
Ecole Doctorale Biologie Intégrative

THESE

présentée à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier
pour obtenir le diplôme de Doctorat en Sciences du Sol

Effets de litières sur l'offre en azote d'origine organique dans des systèmes de culture de maïs à couvertures végétales

Etude de cas dans la zone à forêt semi-décidue de Côte d'Ivoire

par

Patrice Autfray

Soutenue le 13 décembre 2002 devant le jury composé de :

M. Jean Claude Rémy	Professeur ENSA Montpellier <i>(Président du jury)</i>
Mme. France Bernhard-Reversat	Directeur de Recherche IRD Bondy <i>(Rapporteur)</i>
Mme. Colette Munier-Lamy	Chargée de Recherches CNRS Vandoeuvre Les Nancy <i>(Rapporteur)</i>
M. Francis Andreux	Professeur UNIVERSITE Dijon <i>(Rapporteur)</i>
M. Luc Abbadie	Directeur de Recherches CNRS Paris <i>(Directeur de Thèse)</i>
Mme. Dominique Gillon	Chargée de Recherches CNRS Montpellier <i>(Examineur)</i>
M. Robert Oliver	Ingénieur de Recherches CIRAD Montpellier <i>(Invité)</i>

Remerciements

Je remercie les responsables de la recherche agronomique de Côte d'Ivoire (l'Institut des savanes, IDESSA, puis à partir de 1998, le Centre National de la Recherche Agronomique, CNRA), d'avoir permis à ces expérimentations agronomiques de voir le jour, puis de les avoir soutenues, à savoir M. Koffi Goli et M. Sié Koffi. C'est avec beaucoup d'émotion que je dois citer les nombreuses personnes avec qui j'ai partagé pendant ces cinq années mes journées de travail. Ce sont des techniciens et ouvriers permanents mais aussi de la main d'œuvre occasionnelle, qui ont permis de réaliser le travail présenté. Je les remercie pour leur courage, leur patience et leur gentillesse : Bosson Brou, Yao Kra, Affian Affian Noël, Kouakou Antoine, Diomandé Désiré, Sawadogo Karim, Frigence, et tous ceux présents encore dans ma mémoire. J'adresse également des remerciements au village de Gabia pour leur hospitalité et notamment à Traboué bi Kouakou propriétaire du terrain utilisé dans le cadre de cette thèse.

Je remercie également le responsable de l'Ecole Doctorale, M. Charrier, et le responsable de ma Formation Doctorale, M.Rémy, d'avoir fait confiance à « un père de famille », et qu'il puisse ainsi compléter sa formation supérieure.

Cette thèse a été réalisée conjointement au Laboratoire d'Ecologie CNRS - ENS de Paris et au laboratoire Soltrop puis Most du CIRAD AMIS.

J'exprime ma profonde gratitude à:

- . Luc Abbadie, Directeur de cette thèse, pour m'avoir fait partager ses connaissances et sa passion de l'écologie;
- . D.Benest, B.Verdier, S.Konate, J.Tondoh, X.Barron du même laboratoire, qui ont apporté leur contribution avec toujours beaucoup d'attention et de réflexion;
- . Francis Ganry, du Cirad pour les conseils apportés et son soutien; B.Marger pour son travail sérieux et sa bonne humeur ; M.Dicko pour sa contribution.

J'exprime une reconnaissance plus particulière à Robert Oliver qui a participé du début jusqu'à la fin au suivi critique de ce travail ; que sa « légendaire » disponibilité et sa compétence soient ici reconnues.

Je tiens également à remercier les responsables du Cirad qui ont facilité la tâche «d'un agronome de terrain» et m'ont accordé leur confiance à savoir: A.Leplaideur, A. Capillon et F.Forest.

Je lance un «grand merci» à L.Séguy et H.Charpentier agronomes du Cirad pour m'avoir transmis leur savoir et leur pratique passionnée de l'agroécologie.

Enfin je ne peux oublier mes enfants et mon épouse : leur présence a été d'un grand soutien ; merci pour leur patience. Merci également à l'équipe du Cirad à Mayotte pour leur appui.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	7
---------------------------	----------

PROBLEMATIQUE.....	7
---------------------------	----------

La fertilité des sols dans la zone à forêt semi-décidue de Côte d'Ivoire	7
Les systèmes à couvertures végétales	9
L'offre en N d'origine organique dans des systèmes à couvertures végétales	10
Les systèmes à couvertures végétales testés.....	13
Quelques résultats agronomiques et hypothèses	15

SITE ET DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL	18
--	-----------

SITE	19
-------------------	-----------

DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL	22
--------------------------------------	-----------

CHAPITRE 1 23

DYNAMIQUE DE C ET N DES LITIERES AVEC DES SYSTEMES DE CULTURE DE MAÏS A JACHERES DE *CHROMOLAENA ODORATA* ET *PUERARIA PHASEOLOIDES*

ABSTRACT	24
-----------------------	-----------

INTRODUCTION	25
---------------------------	-----------

MATERIALS AND METHODS	26
------------------------------------	-----------

Litter sampling	26
Laboratory mineralisation of litter nitrogen	26
Field decomposition studies	27
Plant analysis	28
Data analysis	28

RESULTS	28
----------------------	-----------

C and N accumulation	28
Litter quality	29
Laboratory N mineralisation	30
Comparison of C remaining in 0.2 mm and 2 mm mesh-size litterbags	30
Modelling of C and N remaining in 2 mm mesh-size litterbags	31

DISCUSSION AND CONCLUSIONS	34
---	-----------

The litterbag method.....	34
Factors controlling litter decomposition	35
N supply for maize crops	37
Consequences on soil organic matter	38

LIAISON CHAPITRE 1 - CHAPITRE 2	39
--	-----------

CHAPITRE 2 40

OFFRE EN N *IN SITU* DU SOL EN SURFACE POUR DES SYSTEMES DE CULTURE DE MAÏS A JACHERES DE *CHROMOLAENA ODORATA* ET *PUERARIA PHASEOLOIDES*

INTRODUCTION 41

MATERIEL ET METHODES 43

Litières	43
Sol.....	43
Température du sol	44
Humidité du sol.....	45
Biomasse microbienne	45
Maïs.....	45
Etude $\delta^{15}\text{N}$	45
Analyse des données	46

RESULTATS 46

Matière sèche, mobilisation et teneur en N des litières.....	46
Température du sol	47
Humidité du sol.....	48
Quantité de N du sol <i>in situ</i> pendant la culture de maïs.....	49
Minéralisation nette pendant la culture de maïs.....	50
Mobilisation N du maïs	51
Biomasse microbienne	52
Humidité et teneur en N minéral du sol pendant la période de jachère	52
Etude $\delta^{15}\text{N}$	53

DISCUSSION 54

Offre globale en N du sol et mobilisation en N du maïs	54
Facteurs contrôlant l'offre en N	56
Synchronie entre offre du sol et besoins en N de la culture.....	58
Origine de l'offre en N du sol	59

LIAISON CHAPITRE 2 – CHAPITRE 3 61

CHAPITRE 3 62

EFFETS DE SYSTEMES DE CULTURE DE MAÏS A JACHERES DE *CHROMOLAENA ODORATA* ET *PUERARIA PHASEOLOIDES* SUR LES MATIERES ORGANIQUES DU SOL EN SURFACE

INTRODUCTION 63

MATERIEL ET METHODES	65
Prélèvement et analyse de végétaux	65
Prélèvement et analyse de sol	66
Incubation de courte durée.....	66
Incubation de longue durée.....	67
Traitement des données.....	68

RESULTATS	69
Apports organiques cumulés en C et N.....	69
Qualité des résidus apportés.....	70
Incubation de courte durée.....	71
Granulométrie et stocks en C et N	73
Cinétique de minéralisation de C	74
Cinétique de minéralisation nette N	76

DISCUSSION	79
Systèmes de culture et stocks C et N sur 0-10 cm	79
Hypothèses sur les facteurs de minéralisation des sols à court terme	80
Hypothèses sur les facteurs de minéralisation des sols l'échelle de la campagne.....	80
Systèmes de culture et compartiment du sol à taux de renouvellement élevé.....	81

CONCLUSION GENERALE 83

RESULTATS AGRONOMIQUES.....	84
------------------------------------	-----------

IMPACTS DES LITIERES SUR L'OFFRE EN N.....	85
---	-----------

AUTRES RESULTATS	86
-------------------------------	-----------

LIMITES DE L'ETUDE ET PERSPECTIVES	88
---	-----------

REFERENCES 89

INTRODUCTION

PROBLEMATIQUE

La fertilité des sols dans la zone à forêt semi-décidue de Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest)

La zone à forêt semi-décidue de Côte d'Ivoire couvre près de 100.000 km² (Figure 1).

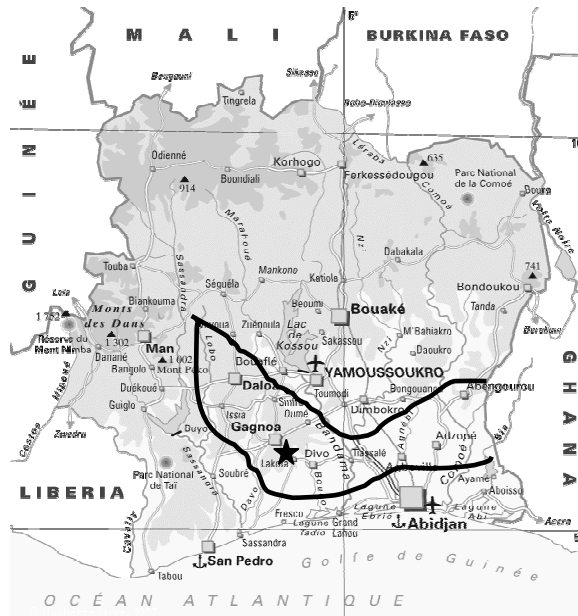


Figure 1. Délimitation de la zone à forêt semi-décidue en Côte d'Ivoire ;
★ Station météorologique de référence ; Gagnoa

Cette zone écologique est caractérisée par un climat bimodal et une pluviométrie modérée comprise entre 1200 et 1600 mm répartie sur dix mois (Figure 2).

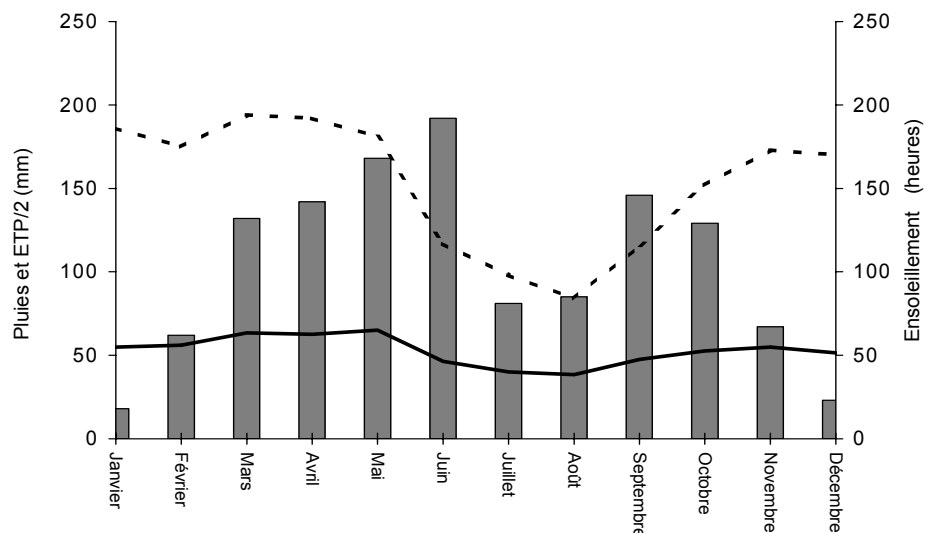


Figure 2. Gagnoa ; Moyennes mensuelles (1971-1999) pluviométrie, ETP / 2, ensoleillement.

Ce type d'écosystème est bien représenté sur l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest (Sanchez, 1982). Sous forêt les sols de cette région ont des teneurs en matières organiques du sol (MOS) élevées (Gigou, 1992), nettement supérieures à celles des régions plus au sud et à l'ouest à végétation primaire de type forêt sempervirente (Van-Reuler et Janssen, 1993; Slaats, 1995), et à celles des régions du centre et du nord à végétation naturelle de type savane (Abbadie et al., 1992). Il semblerait que l'effet d'apports organiques continus par les feuilles des arbres associé à une faible lixiviation, permettent à ce bilan organique d'être favorable. Sanchez (1982) cite des stocks en azote (N) de 11.2 t ha^{-1} en moyenne sur 23 profils de sol réalisés à 1 m de profondeur en zone forestière, soit des valeurs supérieures à celles obtenues sous climat humide tempéré. Le maintien d'un stock de 4.3 t ha^{-1} N sur la couche de sol 0-15 cm est maintenu avec l'apport annuel sur le sol de 199 kg ha^{-1} par les litières.

Les systèmes traditionnels à défrichement manuel et brûlis de la végétation maintiennent les stocks organiques du sol à 75% du niveau d'équilibre sous forêt avec un rapport «durée de culture/durée de jachère» d'environ 0.3 (Greenland et Nye, 1959). L'abandon des parcelles après « défriche-brûlis » serait lié à la fois à la perte de l'effet des apports des cendres sur la disponibilité en nutriments mais aussi à la pression en adventices qui deviendrait beaucoup plus forte (Van-Reuler et Janssen, 1993 ; De Row, 1994). Des études montrent des évolutions rapides des teneurs en carbone (C) en surface (0-10 cm), qui passent de 4.94 % sous forêt, à 2.34 % dans des systèmes vivriers avec jachère, à 1.47 % dans des systèmes à culture continue (Aweto et al., 1992).

La zone forestière de Côte d'Ivoire a connu depuis les années 1950 un développement agricole très important suite aux plantations de cacaoyers et de caféiers réalisées par des exploitations de type familiale avec peu d'intrants (Ruf, 1984; Oswald, 1997). Cette zone est devenue également un des principaux centre de production en céréales (riz et maïs), avec une partie vouée à la commercialisation, notamment la culture de maïs (Fusillier, 1991).

Un fait écologique majeur a suivi cette exploitation progressive des terres. *Chromolaena odorata*, espèce végétale introduite en Côte d'Ivoire et dans d'autres pays africains comme plante de couverture pour lutter contre *Imperata cylindrica*, s'est ensuite propagée spontanément sur l'ensemble de la zone forestière (Delabarre, 1977). A partir de son lieu d'introduction situé près d'Abidjan vers 1953, cette espèce héliophile de grande taille (2 à 3 m en moyenne), grâce au pouvoir de dissémination exceptionnel de ses graines, a colonisé peu à peu toutes les parcelles cultivées partiellement débarrassées de couverture forestière. Son éradication biologique est envisagée pour lutter contre le surcoût économique lié à l'entretien des plantations de cultures pérennes (De Foresta, 1995). Des études montrent que cette espèce s'est aussi parfaitement intégrée dans les systèmes de culture vivriers des paysans. Elle semble avoir permis aux agriculteurs de réduire les temps de jachère pour pratiquer des systèmes alternant à deux années de culture deux années de jachère (Mollard, 1993), ou une année de culture et trois années de jachère (Slaats, 1995). *Chromolaena* montre une capacité à maintenir dans le cadre de jachères pluriannuelles un niveau en matières organiques de sols comparable à celui d'une forêt humide (De Foresta, 1991) ou de jachères arborées (Oliver et Ganry, 1994; Salako et Tian, 2001).

Pour la culture de maïs, la nécessité d'accroître les superficies cultivées constitue un enjeu majeur pour le développement face à la demande de plus en plus forte des villes. Le raccourcissement des jachères voir leur suppression nécessite un changement radical des pratiques et le recours à des facteurs de production différents (Billaz et al., 2001; Lal, 1995).

Dans notre zone écologique les seuls essais sur les systèmes de culture maintenus sur une longue durée portent sur des cultures de maïs associant labour mécanisé et fertilisation de synthèse. On constate généralement une baisse des taux en MOS même en cas de restitutions des résidus organiques (pailles) et en présence de fertilisation (Kang, 1993). L'apport des pailles aurait même un effet négatif sur les stocks en C imputable à une augmentation de la biomasse microbienne et son activation possible de minéralisation des MOS (Gigou, 1995). Le coefficient d'utilisation de l'engrais dans ces systèmes est faible et une bonne partie des apports se retrouve concentrée en fin de culture en profondeur (Chabalier ; 1980 ; Juo, 1980). Après un précédent forestier, Chabalier (1986) et Gigou (1995), signalent une baisse importante des stocks N (4% en moyenne) et une absence de réponse de la culture de maïs à la fertilisation azotée pendant les cinq premières années. Dans ces systèmes l'azote d'origine organique apporterait les 2/3 des besoins à la culture (Gigou, 1992). Sur un sol au départ plus dégradé on assiste avec une culture continue de maïs (2 cycles par an) à une baisse très rapide des stocks en 3 années suivie d'une baisse immédiate des rendements même avec apports de fertilisation (Juo et Kang, 1989). Lal (1995) conclut que le choix technique sous climat bimodal de pratiquer deux cycles successifs ne permet pas, même sans travail du sol, avec restitution de pailles, apport de fertilisation et insertion de légumineuses dans la rotation, de maintenir les rendements en maïs.

Les deux cycles de culture n'ayant pas le même potentiel de rendement, il semble que l'option d'utiliser la principale saison des pluies, plus longue et ensoleillée que la seconde, pour produire le maïs, et de réserver la seconde saison des pluies à la jachère soit préférable (Autfray et Gbaka Tchetché, 1997).

Les systèmes à couvertures végétales

Les systèmes de culture à couvertures végétales se définissent principalement par (Raunet et al., 1998 ; Séguy, 2001):

- un travail minimal du sol;
- l'insertion d'une jachère ou d'une culture secondaire pour le maintien de la fertilité;
- une implantation de(s) culture(s) principale(s) dans les résidus de jachère et de récolte.

Les avantages attendus sont nombreux:

- limitation des coûts de production ;
- sols protégés contre l'érosion et la perte de stabilité physique;
- recyclage des matières organiques et des éléments minéraux;

Cela nécessiterait d'avoir:

- un recours à un minimum d'intrants notamment des herbicides;
- un niveau de technicité minimal et un outillage spécifique.

En Amérique Latine il existe un référentiel ancien d'adoption de ces systèmes de culture par des agriculteurs que cela soit en systèmes mécanisés (Calegari et Alexander, 1988; Séguy et Bouzinac, 2001) ou en systèmes de culture manuelle (Buckles et al., 1998). Ces systèmes font l'objet actuellement d'études approfondies notamment concernant leur capacité à améliorer les stocks organiques du sol, en zone tempérée (Germon et Taureau, 1991 ; Griffin et al., 2000), et en zone tropicale (Séguy, 2001). Une modélisation effectuée sur 100 années dans la zone à culture continue de maïs «corn-belt» sur l'évolution du stock en C de la couche de sol 0-15 cm indique, avec labour des pertes en C, des gains importants sans travail du sol, doublés avec l'utilisation dans la rotation d'une plante de couverture (Reicosky et Forcella, 1998). Une des expériences brésiliennes mentionne une amélioration des rendements à court terme et une amélioration des stocks à moyen terme (à partir de 5 années) en passant du système conventionnel avec labour à des systèmes à couvertures végétales (Calegari et Alexander, 1998). En agriculture de montagne d'Amérique Centrale, le système «maïs - mucuna» est largement adopté et permet outre une bonne valorisation économique d'améliorer les stocks en MOS du sol en surface (Buckles et al., 1998 ; Triomphe, 1996).

Les principaux systèmes à couvertures végétales sont les suivants (Raunet et., 1998) :

- les systèmes à couvertures mortes où le paillage est produit *in situ*, en intercalaire ou importé ;
- les systèmes à couvertures vivantes caractérisés par la présence d'une plante de couverture se développant pendant ou après le cycle de la culture.

Les premiers types de système ont comme principal avantage de simplifier la gestion de l'agrosystème cultivé en évitant les problèmes de compétition de la plante de couverture sur la culture principale. Ils sont notamment mieux adaptés aux climats secs et aux situations où l'immobilisation de surfaces improductives n'est pas socialement acceptable. Le choix de l'espèce de couverture dépendra des facteurs limitants les rendements et la productivité du travail à lever à court terme, soit par exemple l'enherbement sur sol fertile, soit l'acidité du sol sous fortes pluviométries. Des espèces annuelles comme le « sorgho » (Séguy, 2001) ou de nombreuses légumineuses à graines, comme *Mucuna spp.* » (Lal, 1995) sont réputées être à la fois des plantes limitant l'enherbement par leur biomasse et leurs effets allélopathiques et capables de mobiliser dans leur biomasse de fortes quantités de nutriments pour les plantes. Les espèces pérennes sont généralement gérées en couvertures vivantes (Akobundu et Okigbo, 1984). Parmi ces dernières nous distinguons les légumineuses vivaces comme *Pueraria phaseoloides* (Tian et al, 2001) et les herbacées pérennes des prairies et des savanes. Ces dernières sont réputées mobiliser dans leurs racines la plus grande partie de leur biomasse totale que cela soit en milieu tempéré (Reicosky et Forcella, 1998) ou en milieu tropical (Abbadie et al., 1992).

L'offre en N d'origine organique dans des systèmes à couvertures végétales

Au niveau de l'écosystème les dynamiques des cycles C et N sont intimement liées plus particulièrement pour les MOS dont l'origine provient directement du C et du N accumulés dans les plantes lors de la photosynthèse. Ce sont les microorganismes du sol (bactéries, champignons, actynomycètes) à rapport C/N bas (en moyenne entre 4 et 15) qui pour satisfaire leurs besoins assurent la transformation des

produits végétaux à C/N élevé (en moyenne autour de 50). Il en résulte à court terme une forte minéralisation en C vers l'atmosphère et une relative accumulation de N au niveau des MOS résultant de la demande microbienne (en moyenne à C/N entre 10 et 20). Des MOS partiellement décomposées auront un C/N élevé et les plus anciennes un C/N proche de la valeur des microorganismes. Une partie de N est libérée au bénéfice des plantes et recyclée par voie minérale. Un recyclage biologique de N existe également par la voie d'associations bactériennes (Paul et Clark, 1989 ; Tiessen et Chang, 1998).

Dans les écosystèmes l'offre en N d'origine organique est lente comparée à celle des apports minéraux des agrosystèmes mais elle offre ainsi l'avantage d'occasionner moins de pertes (Zech et al., 1997). Elle dépend tout d'abord de l'histoire ancienne du sol qui avec la texture détermine une minéralisation basale (Mary et Recous, 1994). Des études montrent pour une large gamme de sols tropicaux une bonne corrélation entre la teneur en N total et la fourniture en N du sol à court terme en conditions contrôlées (Chotte et al., 1994). Cependant d'autres études suggèrent une indépendance entre stocks en N et fourniture en N à court terme qui serait plus liée à un compartiment à taux de renouvellement rapide (Smith et al., 1994; Zech et al., 1997). En général les taux de minéralisation des MOS sont sous climat tropicaux bien supérieurs à ceux relevés sous climat tempéré en raison notamment d'une activité biologique plus élevée liée à des conditions de températures optimales pour l'activité microbienne. La macrofaune du sol par action de fragmentation physique accélère le processus initial de décomposition (Tiessen et Chang, 1998 ; Lavelle et Spain, 2002).

La particularité de l'offre organique est de dépendre en milieu tropical des régimes pluviométriques. La synchronie «offre du sol - besoins de la culture» peut se définir lorsque l'offre minérale du système «sol-litière» suit la demande de la culture. Les choix techniques pour adapter la synchronie de l'offre à celle de la demande sont parfois limités par rapport à des engrais minéraux car il est montré empiriquement que le semis précoce offre généralement en zone tropicale les rendements les plus élevés (Myers et al., 1994).

La présence des litières à la surface du sol, même en quantité limitée, interagit fortement à court terme sur les différents déterminismes de l'offre en N du sol, qui en surface, présente une concentration des systèmes racinaires des plantes et des stocks organiques (Calegari et Alexander, 1998).

Premièrement la présence des litières à la surface du sol influe sur les propriétés physiques du sol. Par rapport à un sol nu la température du sol en surface est diminuée, l'humidité du sol mieux conservée, améliorant ainsi l'activité microbienne (Tian et al., 1993 ; Brown et al., 1994 ; Scholes et al., 1994). Cette disponibilité en matériaux organiques et l'amélioration des conditions physiques du sol favoriseraient le développement de l'activité de la faune du sol, notamment des vers et des termites dont l'activité est sensée améliorer les conditions d'aération et d'agrégation du sol (Lavelle et al., 1993).

Les litières riches en N peuvent être une source en N rapidement disponible et constituer une source directe pour la culture suivante. En milieu tropical les mobilisations dans les parties aériennes des jachères pendant des temps de 4 à 5 mois peuvent atteindre 200 kg ha^{-1} pour des légumineuses à croissance rapide (Becker et Johnson, 1998 ; Tian et al., 2000). Sur le cycle suivant il est établi que cela équivaut à une économie d'engrais équivalente de 50 à 100 kg N ha^{-1} (Tian et al., 2000). Myers et al. (1994) indiquent

une offre directe moyenne des litières pour la culture suivante d'environ 15% avec une légumineuse, Ibewiro et al. (2000) 36% et Mulongoy (1986) 30% au maximum. Mais sous climat humide les litières riches en N sont susceptibles d'être très rapidement minéralisées provoquant un risque de lixiviation au moment où les besoins de la culture ne sont pas encore élevés (Luna-Orea et al., 1996).

Les litières en apportant une source en C pour les microorganismes modifient à court terme la disponibilité en N du sol. La biomasse microbienne contrôle la fourniture de N en tant qu'elle est à la fois une source (minéralisation brute) et un puits en N (immobilisation brute ou réorganisation) (Nicolardot et al., 1996). C'est la mesure de la minéralisation nette, bilan entre la minéralisation brute et réorganisation qui permettra d'estimer l'offre réelle du sol. Le développement de la biomasse microbienne est généralement un signe d'immobilisation de N alors qu'une diminution est associée à une forte minéralisation (Ambus et Jensen, 2001). Toute augmentation de biomasse à court terme est un signe de disponibilité future en N (Chaussod et al., 1992; Smith, 1992). Elle ne représente en général que 2 à 6 % de l'azote total du sol et une proportion plus faible en milieu tropical que tempéré. Cependant un taux de renouvellement élevé de cette biomasse en milieu tropical permettrait d'offrir des quantités importantes en N (Paul et Clark, 1989; Tiessen et Shang, 1998). Le potentiel de minéralisation des sols est représenté par la biomasse totale (morte et vivante). Le potentiel de minéralisation immédiat est représenté par la biomasse microbienne morte (Mengel, 1996). Son activité pilotée par l'humidité du sol et la disponibilité en C organique soluble, peut être indépendante de sa biomasse (Boyer et Groffman, 1996). De nombreux auteurs signalent (Parton et al. 1994 ; Wilson et al., 2001) que la biomasse microbienne n'est pas une mesure suffisante pour estimer la capacité d'un sol à fournir de l'azote minéral à court terme.

La proportion de N immobilisé serait fortement liée à la qualité des résidus. Des apports à C/N élevés augmentent la quantité de N immobilisée (Singh et al., 1999). Ibewiro et al. (2000) signalent avec des matériaux à C/N de 58 une immobilisation nette de N pendant 2 mois suivie ensuite d'une forte minéralisation. Les nombreux résultats obtenus sur des incubations de litières seules ou en association avec du sol sur des matériaux d'origine variée définissent un seuil critique du rapport C/N à environ 25, soit environ 1.8% de N, à partir duquel les phénomènes d'immobilisation de N à court terme domineraient (Paul et Clark, 1989; Myers et al., 1994; Kuo et Jellum, 2000). Ainsi les racines auraient généralement un pouvoir d'immobilisation plus élevé en raison d'un C/N plus élevé que les parties aériennes (Ibewiro et al., 1997).

La majorité des études actuelles préconisent d'utiliser des indicateurs biochimiques plus complets, tels que la teneur en C soluble (sucres), les teneurs en fibres déterminées par la méthode Van-Soest (1963) et la concentration en polyphénols (Heal et al, 1997; Mary et al., 1996). La concentration en C soluble déterminerait la dynamique de minéralisation à court terme des litières et les teneurs en composés plus résistants comme la lignine et les polyphénols, leur évolution sur le plus long terme (Trinsoutrot et al., 2000; Abiven, 2001). Les rapports «lignine / N» ou «lignine+polyphénols / N» sont utilisés pour estimer le potentiel de décomposition des matériaux et leur capacité à former un compartiment de MOS stable (Zech et al., 1997).

Le compartiment à taux de renouvellement élevé des MOS a une grande importance dans le maintien de la fertilité des sols et doit être alimenté en continu par des apports organiques pour satisfaire les besoins des

cultures (Tiessen et Chang, 1998; Smith, 1992). Il représenterait environ un quart à un tiers du total des MOS en milieu tempéré et une bien plus faible proportion en zone tropicale (Duxbury et al., 1989; Zech et al., 1997). Ce compartiment est principalement formé par la biomasse microbienne morte et vivante, des produits microbiens, des résidus végétaux et des acides aminés, (Paul et Clark, 1989 ; Mary et Guérif, 1994). La taille de ce compartiment à taux de renouvellement élevé serait très lié à la quantité de résidus apportés et à sa vitesse de décomposition. De faibles différences dans la vitesse de décomposition des résidus organiques engendreraient de grandes différences dans la taille de ce compartiment (Duxbury et al., 1989). Pour des teneurs en N élevées des apports, son taux de renouvellement serait plus rapide (Adams et Attiwil, 1986).

Enfin les litières ont un effet global sur les stocks organiques du sol en relation avec les quantités apportées et avec la proportion d'éléments résistants à la décomposition. A biomasses comparables une légumineuse est généralement moins efficace au stockage à long terme par rapport à une «non légumineuse» (Myers et al., 1994; Dinesh et al., 2001). Les réserves organiques pourraient également dépendre des apports racinaires notamment à la surface du sol où leur concentration est forte (Luizao et al., 1999), par protection physique au niveau des argiles ou des sesquioxydes (Zech et al., 1997) et la production de composés chimiques résistants à la décomposition (Scholes et al., 1994). Ainsi 10 à 20% des apports des litières aériennes sont susceptibles d'être transformés en humus stable alors que la proportion pour les racines peut atteindre 20 à 50% (Brown et al., 1994).

Les systèmes à couvertures végétales testés

Les résultats d'expérimentations agronomiques présentés dans la synthèse bibliographique précédente font apparaître un plus haut potentiel de rendement pour le maïs de premier cycle par rapport à un maïs de second cycle. La culture répétée sur deux cycles conduit à une baisse rapide des rendements. C'est ainsi que nous avons choisi la succession «culture de maïs de premier cycle / jachère de second cycle» dont les durées de période sont par simplification de six mois pour la culture (préparation du terrain et cycle cultural de quatre mois) et six mois de jachère. Ce système de culture représenterait une situation de limitation foncière vécue déjà par un nombre significatif d'agriculteurs (Oswald, 1997) et une amélioration technique permettant d'améliorer la productivité du travail (Autfray et Gkaka Tchetché, 1998).

Le deuxième grand type de succession testée fait alterner à la même culture de maïs de premier cycle une jachère d'une durée augmentée d'une année par rapport aux successions précédentes. Cela nous permet d'être représentatif de la situation des producteurs de notre région qui ont suffisamment de disponibilité foncière pour pratiquer le brûlis de jachère à *Chromolaena*.

Les deux espèces végétales comparées dans les jachères sont *Chromolaena* et *Pueraria*. Des nombreuses espèces de légumineuse ont été testées et c'est *Pueraria* qui a été retenue grâce aux avantages suivants (Autfray et Gbaka Tchetché, 1998) :

- fort potentiel de production, floraison tardive, cycle de production pérenne permettant le contrôle de *Chromolaena*;
- facilité d'implantation et de gestion avec la culture de maïs ;
- fixation atmosphérique naturelle et rusticité face aux ravageurs.

Les quatre principaux systèmes de culture testés comparent deux durées de jachère et deux espèces avec une gestion en couverture vivante (Cho 6M, Pue 6M, Cho 18M, Pue 18M). Deux systèmes de culture ont été rajoutés comme témoins, un système à jachère de courte durée sans *Chromolaena* de manière à évaluer son effet (Tem 6M), et un système de culture avec brûlis de *Chromolaena* pour la jachère de longue durée qui représenterait la pratique paysanne (Tem 18M)(Tableau 1).

Les différents systèmes de culture comparés dans le cadre de ce travail sont ainsi décrits dans le Tableau 1 avec mention des principales différenciations au niveau des itinéraires techniques réalisés.

Tableau 1. Description des systèmes de culture à couvertures végétales testés.

Traitements	Nature jachère et durée	Mode implantation de la jachère	Gestion avant semis	Gestion après semis	Fertilisation minérale
Tem 6M	Espèces diverses 6 mois	Extirpation des souches de <i>Chromolaena odorata</i>	Coupe + herbicide glyphosate et 2,4-D	Herbicide 2,4-D + sarclage manuel	Apport phosphore
Cho 6M	<i>Chromolaena odorata</i> 6 mois	Naturelle	Coupe + herbicide 2,4-D	Herbicide 2,4-D + sarclage manuel	Apport phosphore
Pue 6M	<i>Pueraria phaseoloides</i> 6 mois	Semis à la volée dans la culture la première année	Rabattage + herbicide 2,4-D et triclopyr	Sarclage manuel	Apport phosphore
Tem 18M	<i>Chromolaena odorata</i> 18 mois	Naturelle	Coupe + Brûlis + herbicide 2,4-D	Sarclage manuel	Rien
Cho 18M	<i>Chromolaena odorata</i> 18 mois	Naturelle	Coupe + Découpe + herbicide 2,4-D	Herbicide 2,4-D + sarclage manuel	Rien
Pue 18M	<i>Pueraria phaseoloides</i> 18 mois	Semis en culture pure la première année	Rabattage + herbicide 2,4-D et triclopyr + Découpe	Sarclage manuel	Rien

Tous les systèmes de culture testés sont gérés en couvertures vivantes sauf le témoin avec brûlis. Après la coupe (*Chromolaena*) ou le rabattage (*Pueraria*) de la jachère effectuée avec une matchette au début de la principale saison des pluies, une application d'herbicides est appliquée dès l'apparition de repousses. L'utilisation de matières actives systémiques est faite à des doses mises au point préalablement, permettant un contrôle des espèces pendant l'essentiel de la phase de croissance de la culture sans jamais les détruire (Autfray et Gbaka Tchetché, 1998). La découpe des litières réalisée sur les systèmes de culture à jachère de 18 mois avec *Chromoalena* et *Pueraria* permet de mieux répartir la forte biomasse mobilisée sur la parcelle.

Les systèmes de culture à jachère de 6 mois (SC6MJ) reçoivent tous une application en P sous forme d'engrais soluble, 60 la première année puis 30 kg ha⁻¹ les années suivantes. Aucune application n'est faite sur les systèmes de culture à 18 mois de jachère (SC18MJ). Ce choix se justifie premièrement par une logique d'intensification des terres pour les premiers et de pratique plus extensive pour les seconds. Deuxièmement il paraît nécessaire d'avoir des parcelles élémentaires de taille suffisamment grande en raison de la taille importante de *Chromolaena* pour estimer sans erreur sa production de biomasse. La multiplication des traitements devient alors difficile. Les pailles de maïs sont restituées au niveau des parcelles et rabattues après la récolte. Les adventices sont laissées à la surface du sol.

Quelques résultats agronomiques et hypothèses

Les rendements grains obtenus entre le début (1995) et la fin de l'expérimentation (1999) montrent les évolutions suivantes (Figure 3):

- un faible niveau de rendement moyen au départ (2.8 t ha^{-1});
- des niveaux de rendement élevés à partir de 1996 et une forte variabilité;
- des différenciations nettes pour les SC6MJ à partir de 1998;
- des rendements supérieurs pour les SC6MJ dès la première année avec *Pueraria* ;
- de faibles différences de rendement pour les SC18MJ ;

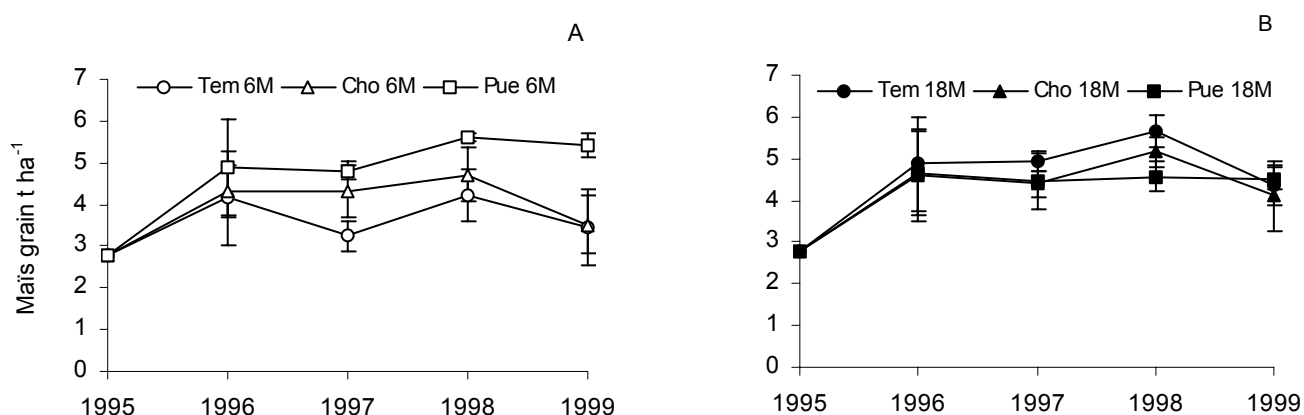


Figure 3. Evolution des rendements grain (15% humidité) pour les six systèmes de culture testés (avec erreur-types, n=4). 1995, estimation moyenne faite avec les SC6MJ. (A), SC6MJ ; (B), SC18MJ..

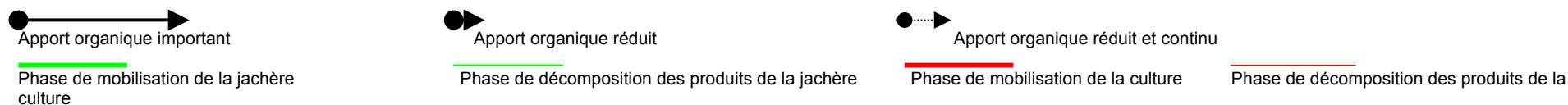
Un diagnostic foliaire réalisé les trois dernières années (Tableau 2) indique pour les SC6MJ que Pue 6M a des teneurs en N de la feuille de l'épi plus élevées que pour les deux autres traitements (significatif en 1998 et 1999). Aucune différence nette apparaît pour N pour les SC18MJ et pour P pour l'ensemble des traitements.

Tableau 2. Diagnostic foliaire N et P (stade floraison femelle, feuille de l'épi) pour les six traitements en 1997 (n=1), 1998 et 1999 (n=4).

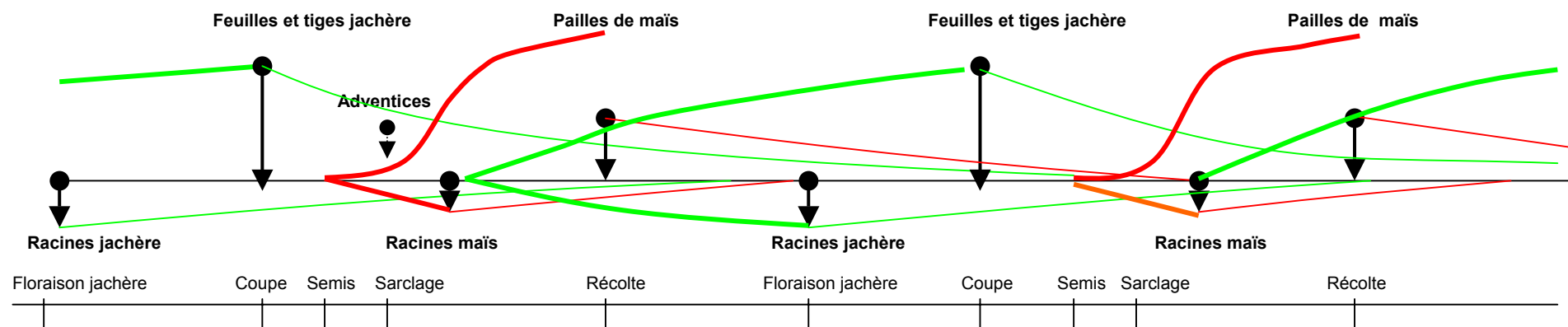
Traitements	N (%)			P (%)		
	1997	1998	1999	1997	1998	1999
Tem 6M	3.50	2.43c	2.31a	0.31	0.24ab	0.20a
Cho 6M	3.17	2.62b	2.61a	0.30	0.24ab	0.23a
Pue 6M	3.75	2.96a	2.80b	0.33	0.28a	0.21a
Tem 18M	3.58	2.73b	2.66b	0.30	0.25ab	0.20a
Cho 18M	3.38	2.68b	2.78b	0.29	0.25ab	0.18a
Pue 18M	3.61	2.71b	2.76b	0.29	0.20b	0.18a

1997, aucune répétition.

1998 et 1999: dans une colonne deux valeurs affectées de la même lettre de différent pas statistiquement ($P=0.05$).



Systèmes de culture à 6 mois de jachère



Systèmes de culture à 18 mois de jachère

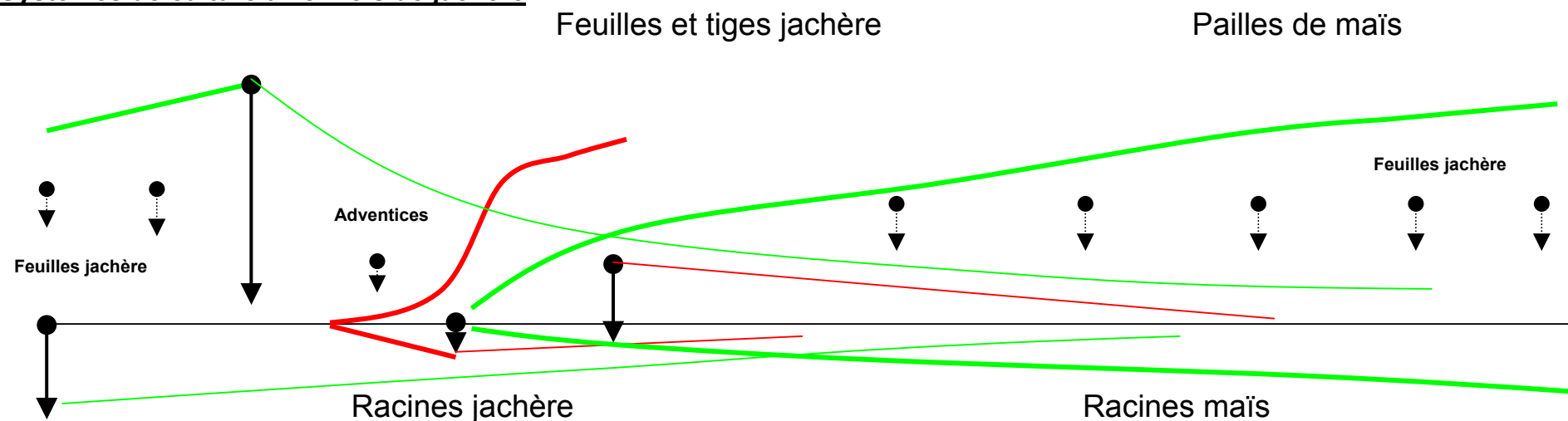


Figure 4. Schéma représentant les apports organiques dans les systèmes de culture par rapport au cycle cultural du maïs avec les phases de mobilisation des jachères et de la culture et les phases de décomposition des produits de la jachère et de la culture.

Ainsi la nutrition azotée constitue un facteur de différenciation des rendements pour les SC6MJ notamment en 1998 et 1999 alors que l'offre en N pour les SC18MJ semble se maintenir.

L'objectif de notre étude est de savoir comment l'offre en N d'origine organique est satisfaite à court terme (cycle cultural) et à moyen terme (effets cumulés des apports).

Le schéma suivant (Figure 4) représente les apports organiques présents à la surface du sol et en profondeur aux différents moments du cycle cultural. Nous supposons dans ce travail que les apports organiques dans les SC6MJ sont dominés par les produits de la jachère et de la culture. Nous considérons que le rôle des adventices et des racines de maïs est négligeable. Les SC18MJ ont des apports plus influencés par les produits de la jachère.

Nous supposons que les facteurs de différenciation de l'offre en N à court terme sont étroitement dépendants des mobilisations des parties aériennes des jachères du fait que :

- le rapport « parties aériennes / parties racinaires » des deux espèces est élevé (Hairiah et al., 1998 ; Tian et al., 1999) ;
- les pailles de maïs se décomposent rapidement et sont en faible quantité au moment du semis de la culture (résultats non publiés).

Nous posons également l'hypothèse que les facteurs de différenciation au niveau du sol se concentreront à sa surface que cela soit à court terme ou à moyen terme.

Les trois étapes de ce travail sont pour les principaux systèmes de culture testés :

- d'étudier les dynamiques du C et du N des litières en 1998 et 1999 (Chapitre 1) ;
- de réaliser un diagnostic sur la relation entre l'offre en N du sol (0-10 cm) et des litières, et les mobilisations en N du maïs pour les campagnes 1998 et 1999 (Chapitre 2) ;
- d'évaluer l'impact sur les MOS (0-10 cm), deux années et demi et quatre années après le début de l'expérimentation (Chapitre 3).

Des données sur les mobilisations et la composition biochimique de ces litières seront précisées à chaque chapitre.

SITE ET DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

SITE

Le dispositif expérimental se situe à 2 km du village de Gabia et à environ 12 km de la sous-préfecture d'Oumé (6°19' N, 5°21' O). L'altitude du site est d'environ 200 m.

Le site se trouve sur un de ces nombreux sillons volcano-sédimentaires de direction NNE-SSO qui entaillent le socle granitoïde ouest africain (Brouwers, 1999). D'après la carte géologique au 1/200.000 de la région de « Toumodi-Divo », dont un extrait est présenté en Figure 5, ce sillon est constitué essentiellement de schistes associés à des bancs de quartzites et de grès, et d'intrusions de rhyolites et de roches vertes.

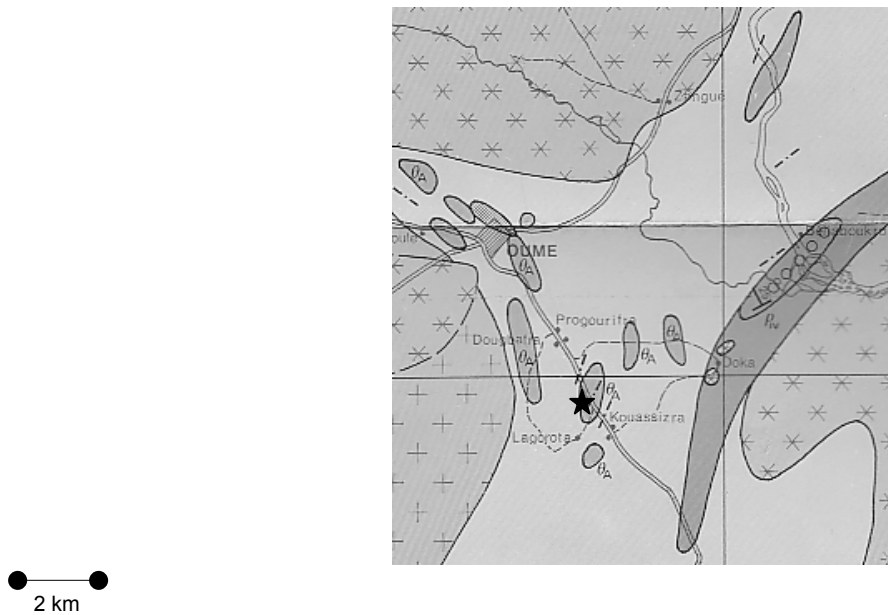


Figure 5. Extrait de la carte géologique de la région de Toumodi-Divo (d'après I. Yace, 1987) : en clair, les schistes ; avec des croix, le socle ; en foncé, les intrusions de roches roches vertes et rhyolites ; localisation du site expérimental★

Au niveau du site expérimental, il apparaît que la roche dominante est de nature schisteuse. L'influence voisine d'un massif de roches vertes (1 km environ) implique une influence chimique de type ferromagnésienne.

Le dispositif expérimental d'environ 1 hectare est implanté sur un ancien glacis marqué par des périodes d'accumulation de fer en bas de versant à l'origine de la formation de cuirasses et de carapaces. Actuellement ce terrain occupe la position sommitale d'une toposéquence suite à une phase plus humide responsable des formes actuelles de relief. Le démantèlement de la cuirasse s'en est suivi et les sols se sont développés sur le niveau carapacé inférieur.

Tableau 3. Quelques caractéristiques de sols dans 2 fosses contiguës au dispositif expérimental; décembre 1994.

Caractéristiques	Profondeur		
	0 - 10 cm.	10-20 cm.	20-40 cm.
EG (> 2 mm. en % pondéral)	25	50	70
Sables (%)	23	25	30
Limons grossiers (%)	35	29	25
Limons fins (%)	22	28	22
Argiles (%)	20	18	17
pH eau	7,2	7,4	7,5
pH KCl	6,3	6,4	6,4
Carbone total (%)	4,12	3,37	1,13
Azote total (%)	0,41	0,37	0,13
Ca ²⁺ (meq/100 gr.)	16,55	15,7	8,07
Mg ²⁺ (meq/100 gr.)	2,53	1,47	0,96
K ⁺ (meq/100 gr.)	0,8	0,84	0,6

Les sols développés sur des schistes ont une terre fine (< 2 mm) riche en argiles et en limons fins, avec un complexe adsorbant bien fourni et un pH neutre comme l'illustre des analyses moyennes réalisées sur deux fosses proches du dispositif avant le début de l'expérimentation (Tableau 3). Les sols de la région possèdent une bonne fertilité chimique mis à part la teneur en phosphore assimilable qui est faible, en moyenne autour de 20 ppm avec la méthode Olsen III (données non publiées).

Cette expérimentation se situe sur des sols à forte teneur en éléments grossiers (EG) (plus de 50% en terme pondéral à partir de 40 cm de profondeur) du fait de la présence d'une carapace à faible profondeur et de résidus de cuirasse, de nature ferrugineuse. En surface (0-10 cm) la densité apparente des EG est de 2.6.

Une cartographie de la profondeur apparente de la carapace a été réalisée sur l'ensemble du dispositif par l'enfoncement vertical avec un marteau d'une barre de fer pointue d'un diamètre de 8 mm. Globalement l'ensemble du dispositif a une carapace située entre 60 et 100 cm. de profondeur (Figure 6).

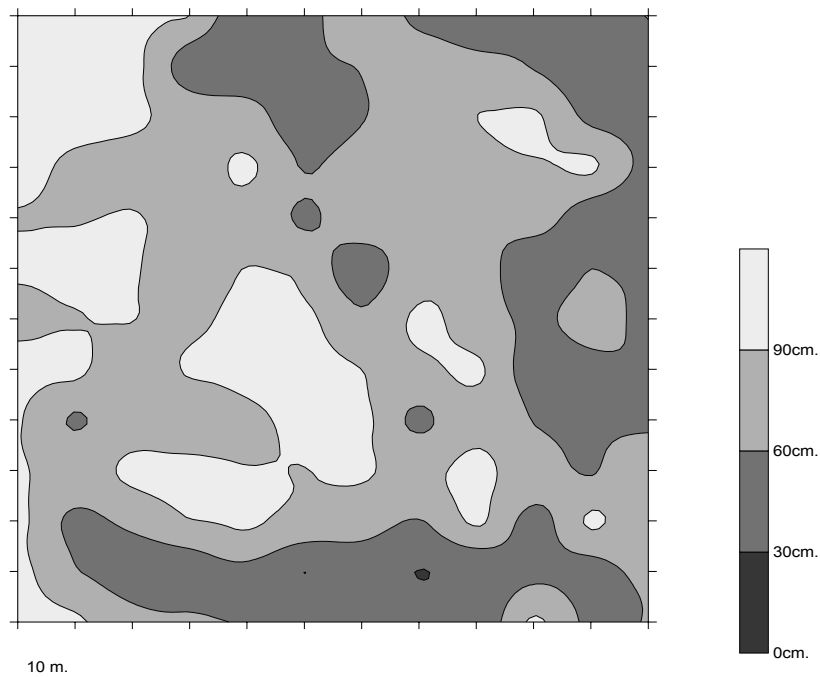


Figure 6. Cartographie de la profondeur de la carapace sur le dispositif expérimental.

Des profils racinaires effectués sur maïs et sur les jachères nous ont permis de voir que cette carapace peut être franchie par les fines racines de maïs, de *Chromoalena* et de *Pueraria*.

Une corrélation globale entre la charge pondérale des EG en surface et la profondeur de la carapace a été établie. Cela a deux conséquences majeures :

- les parcelles élémentaires ont été placées de manière à essayer au mieux de contrôler cette variabilité ;
- les prélèvements de sol ont fait l'objet d'une détermination systématique du taux en EG ;
- l'interaction entre le taux des EG et les traitements devra être étudiée pour chaque variable mesurée.

Quelques études effectuées sur les sols gravillonnaires indiquent que la présence des EG peut avoir une influence importante sur les caractéristiques organiques, chimiques et hydriques des sols, (Boa, 1988 ; Lévêque, 1998).

DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Le dispositif comprend 36 parcelles élémentaires de 216 m² (27 m de long et 8 m de large) avec 4 blocs de Fisher. Des allées de 2 m séparent les parcelles élémentaires et de 4 m pour les blocs. Ce terrain avait été laissé en jachère depuis quatre années et été occupé en 1994 par une végétation dominée par *Chromolaena odorata*, associée à quelques espèces arbustives. Les successions pratiquées sur le dispositif entre 1995 et 1999 sont présentées dans le Tableau 4.

Tableau 4. Succession périodes de culture et périodes de jachère pour les neuf parcelles de chaque bloc et les six traitements testés ; 2 saisons par années 1 et 2.
Maïs= culture de maïs ; Esp= jachère espèces diverses ; Cho= jachère *Chromolaena odorata* ; Pue= jachère *Pueraria phaseoloides*.

N ° parcelle	Système de Culture	1995		1996		1997		1998		1999	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	Tem 6M	Maïs	Esp	Maïs	Esp	Maïs	Esp	Maïs	Esp	Maïs	Esp
2	Cho 6M	Maïs	Cho	Maïs	Cho	Maïs	Cho	Maïs	Cho	Maïs	Cho
3	Pue 6M	Maïs	Pue	Maïs	Pue	Maïs	Pue	Maïs	Pue	Maïs	Pue
4	Tem 18M	Cho	Cho	Maïs	Cho	Cho	Cho	Maïs	Cho	Cho	Cho
5	Cho 18M	Cho	Cho	Maïs	Cho	Cho	Cho	Maïs	Cho	Cho	Cho
6	Pue 18M	Pue	Pue	Maïs	Pue	Pue	Pue	Maïs	Pue	Pue	Pue
7	Tem 18M	Cho	Cho	Cho	Cho	Maïs	Cho	Cho	Cho	Maïs	Cho
8	Cho 18M	Cho	Cho	Cho	Cho	Maïs	Cho	Cho	Cho	Maïs	Cho
9	Pue 18M	Pue	Pue	Pue	Pue	Maïs	Pue	Pue	Pue	Maïs	Pue

La présence d'un système à 18 mois de jachère impose d'avoir pour les traitements concernés (Tem 18M, Cho 18M et Pue 18M), chaque année, une parcelle en culture et une parcelle en jachère. Cela a pour conséquence qu'au début de l'année 1996 pour les parcelles 4, 5, 6, la durée de jachère précédente est d'une année et en 1997 de deux années pour les parcelles 7, 8, 9. C'est à partir de 1998 et 1999 que la durée effective de la jachère sera de 18 mois.

Les itinéraires pratiqués sont indiqués pages 13 et 14. La variété de maïs utilisée les cinq années est le composite « Ferké 7928 ». Le maïs est semé en poquets à 3/4 graines espacés de 50 cm. la ligne de semis est de 75 cm entre les lignes. Un démariage à 2 plants par poquet est réalisé de manière à avoir une densité homogène autour de 50.000 pieds/ha.

CHAPITRE 1

DYNAMIQUE DE C ET N DES LITIERES AVEC DES SYSTEMES DE CULTURE DE MAÏS A JACHERES DE *CHROMOLAENA ODORATA* ET *PUERARIA PHASEOLOIDES*

C and N litter dynamics in maize cropping systems with *Chromolaena odorata* and *Pueraria phaseoloides* fallows

Article soumis à Applied Soil Ecology le 1/5/02

Patrice Autfray¹, Luc Abbadie², France Bernhard-Reversat³, Robert Oliver⁴

¹ Cirad BP 1304, 97600, Mamoudzou, Mayotte, France

² Cnrs- Ens, 46 rue d'Ulm, 75005, Paris, France

³ Ird, avenue Henri Varagnat, 93143, Bondy, France

⁴ Cirad TA 40/01, avenue agropolis, 34498, Montpellier, France

ABSTRACT

C and N *Chromolaena odorata* and *Pueraria phaseoloides* litter dynamics were compared for a 2 year period in an agronomic experimental design. The objective was to obtain a baseline analysis of N crop supply and soil organic matter maintenance in cropping systems alternating maize and short fallows.

Mean C mobilisation in above-ground biomass fallows before maize sowing was about 2400 kg C^{ha⁻¹} for the two species, with 6 month fallow (6MF). *Chromolaena* produced more C than *Pueraria* with 18 month fallow (18MF) (mean 7384 and 5578 kg C^{ha⁻¹}, respectively).

Pueraria accumulated more N in his above-ground biomass than *Chromolaena*, (mean 106 and 80 kg N^{ha⁻¹} with 6MF, 263 and 198 kg N^{ha⁻¹} with 18MF, respectively. The capacity of litter to mineralise N during in-vitro incubation was directly correlated with the C/N ratio. The mean C/N ratios at maize sowing time were 30.4 for *Chromolaena* 6MF, 22.1 for *Pueraria* 6MF, 39.1 for *Chromolaena* 18MF and 21.1 for *Pueraria* 18MF.

A comparison of decomposition in litterbags with 0.2 and 2 mm mesh-size revealed that soil mesofauna and termites were responsible for about 50% at the beginning and about 35% at the end of the total decomposition process. Soil fauna contributed more to the breakdown of *Chromolaena* litters than of *Pueraria* litters.

Quantities of C and N remaining in 2 mm mesh-size litterbags during litter decomposition closely fit the double-exponential model simulations for all treatments. The curves highlighted two closely proportional litter pools, i.e. one labile and one recalcitrant. For the C curves, the decay constant of the labile pool (k_L) ranged from 0.024 to 0.250 d⁻¹ and that of the recalcitrant pool (k_R) ranged from 0.0027 to 0.0071 d⁻¹.

For the N curves, k_L and k_R ranged from 0.020 to 0.372 d⁻¹ and 0.0014 to 0.0102 d⁻¹, respectively. C and N dynamics are also discussed in terms of factors other than soil fauna that would influence litter decomposition.

In all the systems, litter N supply for subsequent maize crops was suggested to be asynchronous since the release of N litters was rapid. N supplies in 6MF cropping systems were globally insufficient and only 18MF cropping schemes would provide suitable N supplies from the litter to ensure optimal maize yields. Further studies are required to analyse N supplies by the soil-litter system and the consequences on C and N budgets.

Keywords: Carbon; Nitrogen; Litter; Decomposition; Modeling; Soil fauna; Cropping systems.

INTRODUCTION

Fallow management could play a major role in maintaining soil fertility in forest areas of West Africa under low input cropping systems. It is essential to develop sustainable cropping systems with short fallows in response to the high population pressure (Kang, 1993; Lal, 1995).

Processes involved in fertility restoration during fallow periods are complex since they modify the chemical and physical properties of the soil through litter organic input, rooting dynamics and soil fauna activities (Brown et al., 1994; Lal, 1995).

In the deciduous forest area of Côte d'Ivoire, fallow flora is dominated by *Chromolaena odorata* which rapidly cover the soil after clearing or crop harvesting. This species is used as a cover crop and on the basis of its established reputation for boosting soil fertility under various humid tropical conditions (de Foresta, 1991; Obatolu and Agboola, 1993; Slaats, 1995).

Pueraria phaseoloides, a legume cover crop, is commonly used in Côte d'Ivoire to avoid *Chromolaena* growth in newly planted perennial crop plantations. *Pueraria* seems to be one of the most efficient planted fallow species in improved cereal cropping systems for N organic input via rooting activity and biological N₂ fixation (Lunea-Orea, et al., 1996; Tian et al., 1999).

Field studies have shown that *Chromolaena* and *Pueraria* which are perennial species, can be managed as live mulch (Lal, 1995) in cropping systems with maize. The mulch species grow in the field before crop harvesting, cover the soil at the end of the rainy season, and are slashed down with a hoe and sprayed with a herbicide in preparation for the subsequent sowing period. The herbicide do not kill the cover crop and act as a growth retardant. These cropping systems alternate a main crop and a cover crop species without tillage. They have many advantages, i.e. they maximise biological processes to sustain soil fertility with permanent ground cover, and can limit soil C and N losses through continuous organic inputs (Brown et al., 1994; Lal, 1995).

An agricultural experiment was carried out from 1995 to 1999. The aim was to determine whether decomposition process could meet N supply needs for maize crops without any N fertilizer input by comparing N supplies in maize cropping systems with 6 month and 18 month fallows, with either *Chromolaena* or *Pueraria* grown as live mulch. The following three aspects were assessed: litter C and N dynamics through decomposition; N soil supply in relation with crop demand; and changes in soil organic matter.

In this study, we investigated the factors which control above-ground litter dynamics based on the hypothesis that the above ground-biomass plays a major role in C and N cycling since *Chromolaena* and *Pueraria* allocate more biomass to the stems than to the roots (Tian and Kang, 1998; Tian et al., 1999).

The decomposition process is the key to nutrient dynamics, especially with respect to C and N (Paul and Clark, 1989; Parton et al., 1996). Studies have revealed that the synchrony between N supply from the soil-litter system and crop N demand in no-till crops can be controlled by litter decomposition dynamics and subsequent incorporation in the upper soil layers (Myers et al., 1994). N supplies can be generated by litter in short-term cycles via microbial degradation of simple molecules (Swift et al., 1979; Paul and Clark, 1989; Myers et al., 1994). Litter incorporation may temporarily increase microbial activity and immobilise available soil mineral N (Myers et al., 1994; Mary et al., 1996). Litters can also modify upper soil physical parameters such as

temperature and humidity, which are known to control soil organic matter N mineralisation (Tian et al., 1993; Myers et al., 1994; Aber and Melillo, 2001).

In wet tropical climates, the conditions for microbial activity are optimal but litter decomposition rates vary markedly since they can be modified mainly by rainfall patterns, soil N status, soil fauna and litter quality (Swift et al., 1979; Lavelle et al., 1993).

We aimed to evaluate factors that could influence litter decomposition in an initial analysis of N synchrony with respect to litter supply and maize demand. Litter C and N litter dynamics were modelled for two biomass production and decomposition cycles. Data on C and N accumulation and litter quality could also provide some explanation on C and N stock variations with the different cropping systems tested.

MATERIALS AND METHODS

Litter sampling

The fallow was slashed down with a hoe at the end of the dry season. At this period, the *Chromolaena* above-ground biomass included high quantities of mature seeds associated with green leaves and stems. Brown leaves that accumulated during the dry season were lying on the soil surface. The *Pueraria* reproductive period had finished and the plants had green leaves and stems in the bottom and brown below. Just after the cover was slashed down these materials were collected by hand on each basic plot, with three random samplings (0.4 m² each). Stems were cut into about 5 cm pieces and whole leaves were carefully picked. The sampled material is called “litter” here after. Litters were dried at 70°C and weighed. Samples were kept for ash, C, N and lignin contents measurements. Litterbag studies were carried out on samples collected both years.

Laboratory mineralisation of litter nitrogen

Air-dried and milled 1999 litter was incubated under laboratory conditions for 33 days with samples from each triplicate field treatment. Micro-litterbags (80 mm diameter) were made with 60 µm pore-size nylon mesh. They were filled with 4 g of litter, which was humidified with 2 ml of soil solution (20 g of soil mixed with 50 ml of water for 30 min and decanted) and 6 ml of distilled water. Each bag was laid on 50 g of pure sand in a plastic cylindrical funnel, (85 mm diameter), and incubated at 30°C. At 5 day intervals, mineral N was recovered by leaching the litterbags with 60 ml of distilled water. Mineral N was measured in the leachates using colorimetric methods (Bremner, 1965); ammoniacal N was determined by the Nessler method after decoloration of the solution with charcoal, and nitric N was determined by the phenol-disulfonic acid method after breaking down the organic matter with hydrogen peroxyde.

Field decomposition studies

Termite mounds were present on the site at the beginning of the agronomic experimental design (1995). We used stainless-steel litterbags with two mesh sizes (0.2 and 2 mm) to estimate the soil fauna contribution to

decomposition. The 2 mm mesh-size provided access to all mesofauna and termites (Swift, 1979). The 0.2 mm mesh-size excluded most soil fauna (Swift et al., 1979; Wachendorf et al., 1997). Ten g of dry litter was placed in each 10 x 20 cm litterbags. For each treatment, a representative sample was formed with the mean relative quantities of stems and leaves obtained in each block. The litterbags were placed on the soil surface with surrounding litter in the inter-rows of the maize field in the first three blocks. After maize flowering, 2 mm mesh-size nylon material was placed on the litterbags to avoid contamination by maize residues and fallow leaves.

In 1998, litterbags were placed 41 days after slashing and 27 days after sowing (Figure 1-A). In 1999, litterbags were placed 32 days after slashing and 14 days after sowing (Figure 1-B).

The 2 mm mesh-size litterbags were sampled 13, 27, 55, 82, 217 and 313 days after establishment (DAE) in 1998, and 13, 35, 68, 98 and 174 DAE in 1999. The 0.2 mm mesh-size litterbags were sampled 13, 27 and 313 DAE in 1998 and 35, 68, 98 DAE in 1999.

For each date and mesh size, two litterbags were collected in each basic plot. The two litterbags were mixed after removing soil aggregates not attached to the litter. Plant samples were dried at 70°C, weighed and the representative part was ground to 1 mm for C, N and ash determination.

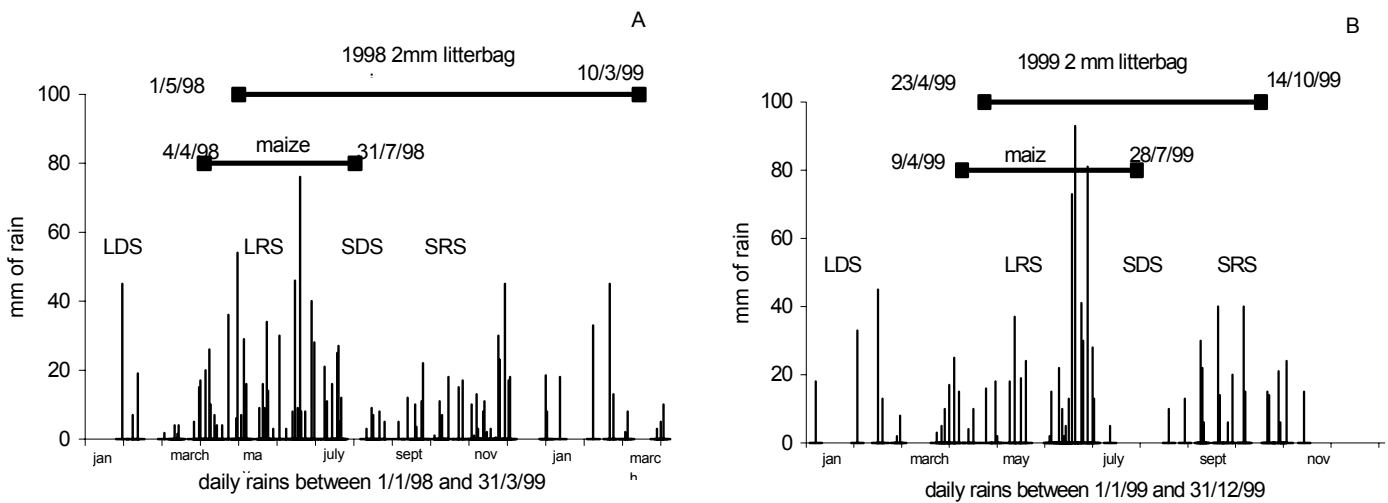


Figure 1. Dates of litterbag series and maize cropping, with rainfall patterns on the experimental site. (A) 1998 series; (B) 1999 series.

LDS = long dry season; LRS = long rainy season; SDS = short dry season; SRS = short rainy season.

Plant analysis

Soil contamination of the litter was assessed by ash determination at 550° (4 h). Total organic C and N in litter were determined with a Thermoquest® using 3-5 mg samples. Lignin content was determined on a mixed ball-milled sample of 6MF and 18MF 1998 litter components by an acid-detergent method (Van-Soest, 1963).

Data analysis

A single-factor ANOVA was used to compare treatments in terms of total C and N and C/N ratios in litters.

The soil fauna effect was quantified using an indicator of the breakdown of plant residues accounted for by soil fauna (BF) (Tian and al., 1995):

$$BF = \frac{(\% C_{\text{remaining with 0.2 mm mesh size}} - \% C_{\text{remaining with 2 mm mesh size}})}{(100 - \% C_{\text{remaining with 2 mm mesh size}}) \times 100} \quad (1)$$

% $C_{\text{remaining with 0.2 mm mesh-size}}$ litterbag represented the C remaining without fauna breakdown and % $C_{\text{remaining with 2 mm mesh-size}}$ litterbag represented the C remaining with fauna breakdown.

For BF analysis, a two-factor ANOVA was used to separately test species and fallow length effects (Wieder and Lang, 1982). Means were compared using the Newman-Keuls test with the lowest significance of 5%.

The percentages of initial C and N remaining at each sampling date were regressed over a time course using a model. The regression was performed on means of the three blocks (six litterbags) using the XLSTAT (2001) nonlinear procedure. To compare the statistical curves, data from two treatments were pooled and a common model was fitted in order to test the hypothesis that the model obtained did not differ from each single treatment model using an F-test (Tomassone et al., 1992).

RESULTS

C and N accumulation

There was high between-year variability in C and N accumulation in the above-ground biomass of fallows (Table 1). In the 6MF treatments, there was much more standing litter present after slashing in 1999 than in 1998 in relation with the total cumulated rainfall during the growth period, i.e. 263 mm from August 1997 to February 1998, and 488 mm from August 1998 to February 1999. In the 18MF treatments, the above-ground biomass was much greater in 1998 than in 1999 with no apparent relation with rainfall patterns. The 18MF treatments produced much more C than the 6MF treatments. *Chromolaena* performed significantly better than *Pueraria* in the 18MF systems. No significant between-species differences in C accumulation were found in the 6MF treatments (Table 1).

Table 1. Litter biomass after fallow slashing during the two years of the experiment

Treatments		C mobilisation (kgC ha ⁻¹)			N mobilisation (kgN ha ⁻¹)			C/N		
Fallow Specie	Length Fallow	1998	1999	Mean	1998	1999	Mean	1998	1999	Mean
<i>Chromolaena</i>	6 months	1961c	2853c	2407	76b	85c	80	25.7b	35.2a	30.4
<i>Pueraria</i>	6 months	1515c	3229c	2372	71b	142b	106	21.5b	22.8b	22.1
<i>Chromolaena</i>	18 months	9053a	5715a	7384	256a	140b	198	35.3a	43.0a	39.1
<i>Pueraria</i>	18 months	6540b	4617b	5578	301a	226a	263	21.8b	20.4b	21.1

In each column, numbers followed by the same letter are not significantly different ($P = 0.05$).

Nitrogen accumulation was also much greater with 18MF than with 6MF. In 1998, there was no significant difference between *Chromolaena* and *Pueraria* N stocks. In 1999, the legume performed significantly better with 6MF and 18MF. In favourable growth conditions, during a 6 month fallow period, *Pueraria* was able to store about the same quantity of N as *Chromolaena* during an 18 month fallow period (Table 1).

Litter quality

Mean C/N values for *Chromolaena* litter (Table 1) showed high variation between years and fallow lengths, whereas *Pueraria* litter C/N was stable. In 1998, a significant difference was obtained when comparing *Chromolaena* 18MF and the other treatments. C/N in 1999 litters were significantly greater for *Chromolaena* as compared to *Pueraria* litter for 6MF and 18MF. C/N variability in *Chromolaena* litters could be attributed to differences in the proportion of stems and leaves, which had very different C/N values. Older material such as

large stems also had higher C/N values than fine stems (Figure 2). For *Chromolaena* and *Pueraria* litter components, lignin content was closely correlated with C/N values (Figure 2).

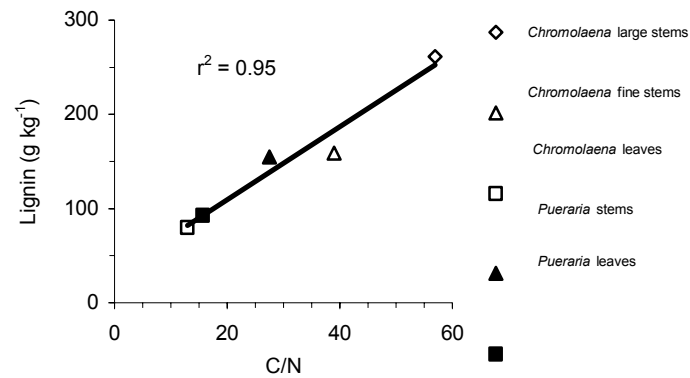


Figure 2. Relation between mean C/N and lignin content of different litter components in 1998 (composite samples of 6 and 18 month fallow treatments).

Laboratory N mineralisation

The net accumulation of mineral N after 33 days was closely correlated with C/N for the 1999 litters (Figure 3). Nitrogen mineralisation in *Chromolaena* litter was higher in the 6MF treatment than in the 18MF treatment, in relation with the C/N ratio. The mineralisation rate was higher in *Pueraria* than in *Chromolaena* for all litters. For *Chromolaena* 6MF, a mean 1.8 mg N was mineralised, which represented about 13% of total litter N, and for *Chromolaena* 18 MF, a mean 1 mg N was mineralised, which corresponded to about 10% of the total litter N. For *Pueraria* 6MF and 18MF, about 3 mg of N was mineralised, which represented 15% of the total N.

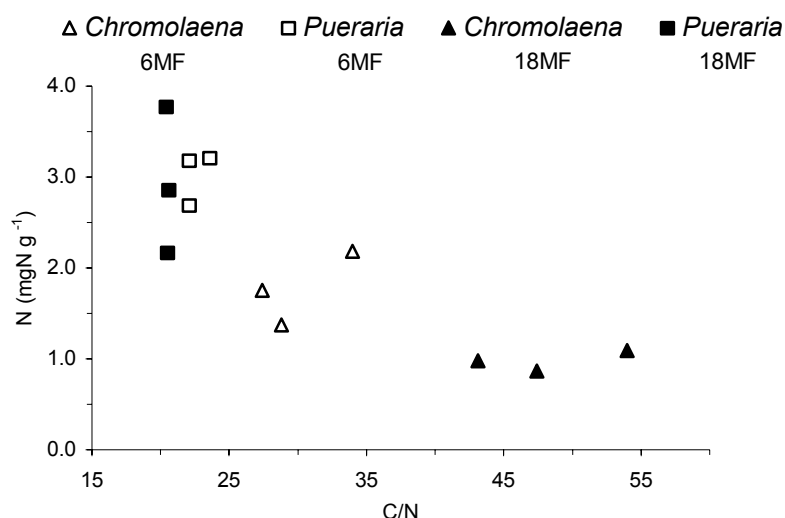


Figure 3. Cumulated N minerals in a 33 day litter incubation versus the C/N ratio in 1999. Each value represents a field replication of 1999 litter samples.

Comparison of C remaining in 0.2 mm and 2 mm mesh-size litterbags.

Quantities of C remaining in 0.2 mm and 2 mm mesh-size litterbags were compared to assess the effect of the presence of soil fauna on litter consumption. As there was no interaction between date and mesh-size factors for each treatment, it was possible to separately compare species and fallow length factors for each date. Table 2 summarizes the soil fauna effects on species and fallow length factors for each date when a comparison between the two mesh sizes was possible.

Table 2. Estimation of the litter breakdown by soil fauna expressed as BF (Tian et al., 1995) at different steps of decomposition studies with mean values for fallow species and fallow length effects

Year	Number of days after litterbags placement	BF for fallow specie factor (%)		BF for length fallow factor (%)	
		Chromolaena	Pueraria	6 months	18 months
1998	13	55.3a	59.3a	64.2a	50.4b
	27	53.8a	44.6a	52.7a	45.7a
	313	37.0a	29.5b	33.9a	32.7a
1999	35	65.0a	40.9b	60.5a	45.3a
	68	59.9a	47.5a	61.2a	43.1b
	98	50.3a	40.8b	52.0a	39.0a

BF = (% C_{remaining} 0.2 mm mesh size - %C_{remaining} 2 mm mesh size) / (100 - %C_{remaining} 2 mm mesh size) x 100

In each row for each factor, numbers followed by the same letter are not significantly different (P = 0.05)

Soil fauna seemed to be responsible for at least 30% of C loss at the end of the decomposition experiment (313 DAE in 1998). Its role could range from 40.9 to 65% during the earliest stage of the decomposition process (13 and 27 DAE in 1998; 35 DAE in 1999).

In 1998, fallow length had a significant effect at 13 DAE and the soil fauna impact was greater with 6MF than with 18MF. At 313 DAE, a species effect was observed and *Chromolaena* was more consumed by soil fauna than *Pueraria* (Table 2).

In 1999, data were only obtained at the beginning and the middle of the decomposition experiment, and a full comparison with 1999 data was difficult. A significant species effect appeared at 35 DAE and, as in 1998, *Chromolaena* was more consumed by fauna than *Pueraria* (Table 2). The fallow length effect was significant at 68 DAE and, as in 1998, the soil fauna impact was greater with 6MF than with 18MF.

Modelling of C and N remaining in 2 mm mesh-size litterbags

The overall results obtained with 2 mm mesh-size litterbags highlighted two distinct stages during decomposition. A first period when C and N disappearance was rapid and a second period when it was slower. We noted that there was no C and N accumulation in the litterbags during decomposition. We thus chose the nonlinear double exponential model to fit the field data. The general formulation of the equation is:

$$\% C_{\text{remaining}} \text{ or } \% N_{\text{remaining}} = Ae^{-k_L t} + (100 - A) e^{-k_R t} \quad (2)$$

t is expressed in days. k_L represents the decay constant of the litter labile pool. k_R represents the decay constant of the litter recalcitrant pool. "A" represents the percentage of the litter labile pool. (100-A) represents the percentage of the litter recalcitrant pool. A first step of the analysis served to determine the equation parameters for total decomposition. In each case, the labile litter pool (A) was about 50%. This value was tested for a global model comparison and the curve parameters obtained for all treatments are given in Tables 3 and 4.

Figure 4 shows, as an example, the two curves obtained each year for C remaining with *Chromolaena* 6MF. The model simulations closely fitted the data, with r^2 values between 0.83 and 0.99. All the curves highlighted a

difference between the labile fraction (A), with high k_L values, and the recalcitrant fraction (100-A), with much lower k_R values.

In 1998, there was a rapid loss, and 50% of the litter C disappeared within 10 to 29 days (Table 3). There were no significant between-species differences for each fallow length (Table 5), although the k_L values for *Pueraria* were twice those for *Chromolaena*. A fallow length effect was noted for both species (Table 5), as the k_L and k_R values were higher for 6MF than for 18MF (Table 3). In 1999, the C remaining curves presented similar k_L and k_R values between treatments (Table 3) and no significant differences were observed (Table 5). Around 50% of the total litter disappeared within 33 to 56 days (Table 3). The k_L values were higher in 1998 than in 1999 for all treatments. The k_R values were lower in 1999 than in 1998 for the 6MF treatments, and lower in 1998 than in 1999 for 18MF systems. *Chromolaena* and *Pueraria* had similar k_R values (Table 3).

Table 3. Curves parameters of double exponential model for C remaining in 2 mm mesh size litterbag obtained with seven points in 1998 and six points in 1999

Year	Treatments		A (%)	k _L (d ⁻¹)	k _R (d ⁻¹)	r ²	t _{C50} (days)
	Fallow specie	Length fallow					
1998	<i>Chromolaena</i>	6 months	50.3	0.127	0.0071	0.99	17
	<i>Pueraria</i>	6 months	50.3	0.250	0.0071	0.98	10
	<i>Chromolaena</i>	18 months	49.9	0.082	0.0034	0.97	29
	<i>Pueraria</i>	18 months	49.9	0.162	0.0027	0.95	19
1999	<i>Chromolaena</i>	6 months	59.9	0.039	0.0056	0.92	33
	<i>Pueraria</i>	6 months	49.9	0.030	0.0045	0.94	52
	<i>Chromolaena</i>	18 months	49.9	0.030	0.0052	0.99	50
	<i>Pueraria</i>	18 months	49.9	0.024	0.0055	0.95	56

$$\% C_{\text{remaining}} = A e^{-k_L t} + (100-A) e^{-k_R t}$$

t in days

t = 0, % C_{remaining} = 100%

t_{C50}, number of day %C_{remaining} = 50%

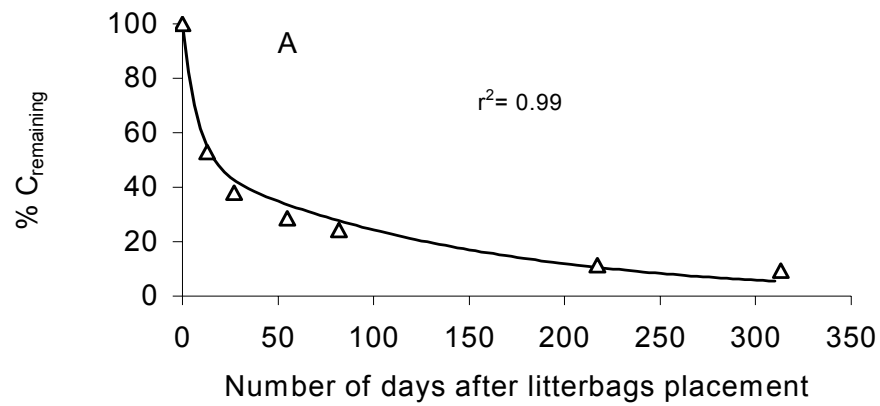
A = % of litter labile pool

k_L = decay constant of the litter labile pool

k_R = decay constant of the litter recalcitrant pool

Table 4. Curves parameters of double exponential model for N remaining in 2 mm mesh size litterbag obtained with seven points in 1998 and six points in 1999.

Year	Treatments		A (%)	k _L (d ⁻¹)	k _R (d ⁻¹)	r ²	t _{N50} (days)
	Fallow specie	Lentgh fallow					
1998	<i>Chromolaena</i>	6 months	68.0	0.208	0.0047	0.99	6
	<i>Pueraria</i>	6 months	50.2	0.372	0.0051	0.98	8
	<i>Chromolaena</i>	18 months	67.9	0.205	0.0026	0.95	14
	<i>Pueraria</i>	18 months	49.8	0.180	0.0014	0.83	21
1999	<i>Chromolaena</i>	6 months	50.0	0.121	0.0076	0.98	17
	<i>Pueraria</i>	6 months	49.9	0.042	0.0026	0.97	50
	<i>Chromolaena</i>	18 months	50.1	0.274	0.0102	0.98	9
	<i>Pueraria</i>	18 months	49.8	0.020	0.0031	0.97	78



$$\% N_{\text{remaining}} = A e^{-k_L t} + (100-A) e^{-k_R t}$$

t in days

t = 0, % N_{remaining} = 100%

t_{N50}, number of day %N_{remaining} = 50%

A = % of litter labile pool

k_L = decay constant of the litter labile pool

k_R = decay constant of the litter recalcitrant pool

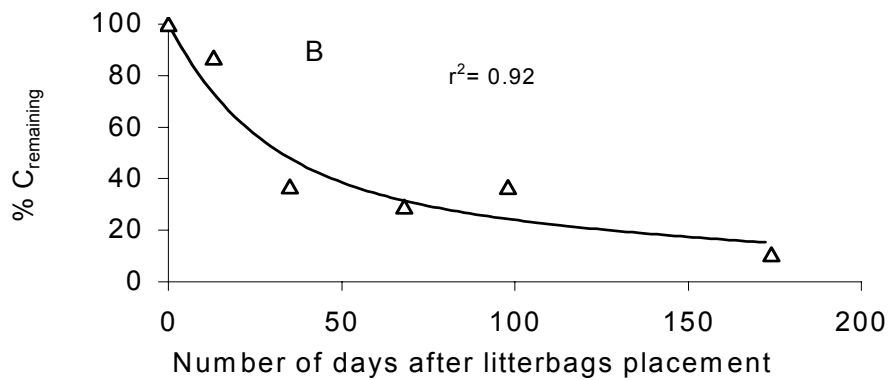


Figure 4. C remaining with 2 mm mesh-size litterbags obtained with the Chromolaena 6MF treatment. The curve represents the model fitting (t expressed in days) and symbols field data. (A), 1998; (B) 1999.

In 1998, half of the litter N was lost between 6 to 21 days (Table 4). Significant between-species differences were noted for each fallow length, and N disappearance was more rapid with *Chromolaena* than with *Pueraria* (Table 5). This effect was likely related with the higher value of the labile pool for *Chromolaena*, which was about 68% as compared to about 50% for *Pueraria* (Table 4). There were no significant effects of fallow length with *Chromolaena*. A significant effect was observed with *Pueraria* as N disappearance was more rapid with 6MF than with 18MF (Table 5). In 1999, half of the total N disappeared within 9 to 78 days. N loss was significantly more rapid with *Chromolaena* than with *Pueraria* for the two fallow lengths (Table 5) in relation with higher k_L and k_R values (Table 4). Half of the total N was lost within 9 to 17 days for *Chromolaena* and within 50 to 78 days for *Pueraria*.

Tableau 5. Statistical significance of differences between species and fallow lengths for C and N curves (Tables 3 and 4) obtained with 2 mm mesh size litterbag for the two years.

Compared fitting curves		C ₁₉₉₈	C ₁₉₉₉	N ₁₉₉₈	N ₁₉₉₉
Curve 1	Curve 2				
<i>Chromolaena</i> 6MLF	<i>Pueraria</i> 6MLF	n.s	n.s	*	**
<i>Chromolaena</i> 18MLF	<i>Pueraria</i> 18MLF	n.s	n.s	*	***
<i>Chromolaena</i> 6MLF	<i>Chromolaena</i> 18MLF	*	n.s	n.s	n.s
<i>Pueraria</i> 6MLF	<i>Pueraria</i> 18MLF	*	n.s	*	n.s

6MLF = 6 months length fallow

18MLF = 18 months length fallow

n.s = non significant; * = $P < 0.05$; ** = $P < 0.01$; *** = $P < 0.001$

A between-year comparison of N curves indicated that the two species behaved differently. For *Pueraria*, N disappearance at the beginning of decomposition was much slower in 1999 than in 1998. For *Chromolaena*, N loss was rapid over the 2-year test period.

Different dynamics were observed for C and N. During the 2 years and for all treatments (Tables 3 and 4), k_L values on the N curves were higher than those on the C curves, except for *Pueraria* 18MF in 1999. This difference was greater with *Chromolaena* treatments, especially in 1999.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The litterbag method

Soil-litter contact in the litterbags is reduced, while microorganism and soil fauna activity is altered. This soil-litter contact modification would be greater in 0.2 mm than 2 mm mesh-size litterbags as the stainless mesh comparatively represented much more area with the smaller size. Wetting and drying cycles could thus be modified and the decomposition rate might be underestimated (Vanlauwe et al., 1997).

Inversely, litterbags are subject to loss of particulate material, which can lead to overestimates of the decomposition rate. This was clearly shown in our study with 2 mm mesh size, since we found a rapid high release of N in the *Chromolaena* treatments for both years (Table 4). For this latter species, this might be attributed to the rapid disappearance of leaves, which were more easily disintegrated and leached than the stems. Selective feeding on high quality material by soil fauna could also have explained these results (Wachendorf et al., 1997) with both *Chromolaena* and *Pueraria*. Losses in 0.2 mm mesh-size bags must be mainly attributed to microorganisms but can be also due to leaching (Wachendorf et al., 1997) and to microarthropods (Adejuyigbe et al., 1999). In the earliest decomposition stage, decomposition loss might also be ascribed to the leaching of organic water-soluble material (Aber and Melillo, 2001).

The litterbag technique was still quite suitable for multiyear comparison to achieve a clear overall understanding of decomposition factors, especially for quantifying the soil fauna impact (Swift et al., 1979; Tian et al., 1992; Tian et al., 1997; Vanlauwe et al., 1997; Wachendorf et al., 1997). The results of k monitoring and short-term decomposition studies would be adapted for analyses of litter N supplies for a subsequent crop (Aber and Melillo, 2001).

The use of a nonlinear double-exponential model to fit the field data provided biological information about the decomposition process (Wieder and Lang, 1982; Luneau et al., 1996; Zaharah and Bah, 1999).

Factors controlling litter decomposition

Resource quantity

At sowing, there were marked differences in litter quantity, ranging from 1515 to 9053 kg C ha⁻¹ that represented about 3 t ha⁻¹ (*Chromolaena* and *Pueraria* 6MF in 1998) to 20 t ha⁻¹ of dry matter (*Chromolaena* 18MF in 1998). Tian et al. (1995) suggested that 5 t ha⁻¹ is a common mulching rate in annual cropping systems. Luna-Orea et al. (1996) found a litter biomass of 16 t ha⁻¹ with *Pueraria* after an 18 month fallow. In 1998, we showed a significant difference in litter degradation between the 6MF and 18MF treatments, and the k_L and k_R values were very different for the two fallow types. For the 2 years and each treatment, we found a close correlation between the k_R values and the initial litter C (Figure 5). The initial C was higher in the 18MF treatment than in the 6MF treatment. The amount of resource to be decomposed might be a factor that influenced the decomposition pattern.

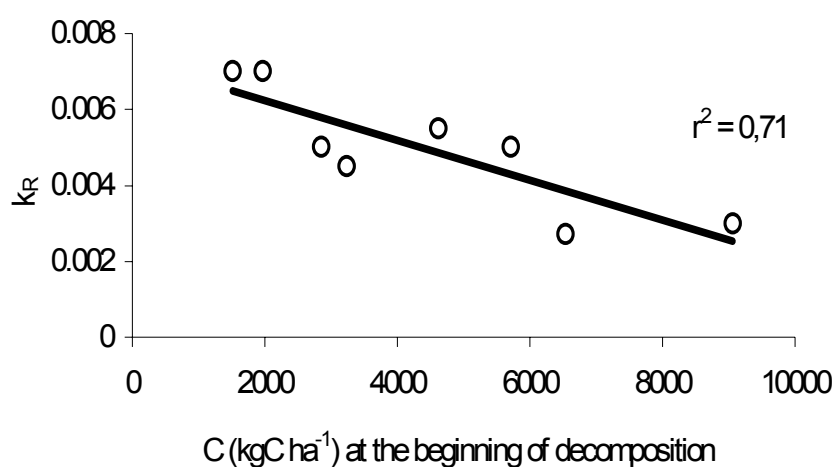


Figure 5. Relation between k_R (constant decay for the recalcitrant litter fraction) for C and the quantity of C in standing litter at the beginning of the experiment (Table 1) for each treatment during the 2 year experiment.

Rainfall

Rainfall patterns differed in 1998 and 1999 (Figure 1). At the beginning of decomposition, soil and litter moisture conditions were better in 1998 than in 1999, when rainfall was lower 1 week before and 5 weeks after the litterbags were placed. We assumed that rainfall patterns were responsible for the higher k_L values, since the C and N curve values were higher in 1998 than in 1999 (Tables 3 and 4). Leaching from litterbags was increased by high rainfall (Vanlauwe et al., 1997), and microbial activity might have been influenced by soil moisture. In areas where there is a frequent alternation of dry and humid periods, rainfall is known to play a major role in the decomposition process (Vanlauwe et al., 1997; Wachendorf et al., 1997; Singh et al., 1999).

Litter quality

The C/N ratio is known to be a relevant biochemical indicator of litter quality in relation with decomposition, as well as lignin and polyphenol contents (Heal et al., 1997; Vanlauwe et al., 1997). The C/N ratios noted in the plant material differed from those reported by Tian et al. (1999), who obtained 27.7 for *Chromolaena* and 11.9 for *Pueraria* in a 1 year fallow. They collected the plant material before the reproductive period, whereas we sampled after seed production. We assumed that part of the total plant N was allocated to seed production at this time. Nevertheless, the results obtained by Tian et al. (1999) also showed that *Chromolaena* had higher C/N ratios and lignin content than *Pueraria*. As we found a close correlation between the litter C/N ratio and lignin content, the C/N ratio alone was a good indicator of N mineralisation in our in-vitro incubation conditions. This is in agreement with results obtained in many other studies involving tropical species (Seneviratne, 2000; Tian et al., 1992; Thomas and Asakawa, 1993).

Soil fauna

As we used a 2 mm mesh-size, we did not evaluate the role of soil fauna larger than 2 mm and the decomposition rate might have been underestimated (Zaharah and Bah, 1999). Tian et al. (1992) found no significant differences between 2 and 7 mm mesh-size, although the 2 mm mesh-size permitted access to most soil fauna including earthworms.

Soil fauna played an important role in litter decomposition during our 2 year study, mainly in the first decomposition period during which about 50% of the residue breakdown was ascribed to this factor. According to Luna-Orea et al. (1996) and Wachendorf et al. (1997), biomass loss under humid conditions with the presence of soil fauna might exceed the loss without fauna by 50%. Our k_L values for C and N were much greater than those obtained by Kwabiah et al. (1999) and Zaharah and Bah (1999) with high quality material and limited soil fauna activity, suggesting that this factor had a substantial impact in our study. At the end of the experiment, about 35% of the total breakdown could be attributed to soil fauna. Soil profiles obtained in 1999 showed the presence of fungus feeding termite combs, mainly near the soil surface (5-20 cm layer) which, in Côte d'Ivoire, are well adapted to different environments ranging from savanna (Abbadie et al., 1989; Lepage, 1980) to evergreen forest areas (Gilot et al., 1995). Termites might be the dominant factor controlling nutrient cycling in deciduous forest areas where rainfall is moderated (Ferry, 1992; Lavelle et al., 1993; Tian et al., 1993).

Our results suggest that termites played an important role. According to Lehman et al. (1995), Tian et al. (1993) and Tian et al. (1997), soil fauna and especially termites have a strong impact on litter quality and they modify the quality-related decomposition process, especially for intermediate quality material with C/N ratios comparable to that of our *Chromolaena* litter. *Chromolaena* was significantly more degraded by soil fauna than *Pueraria* (Table 2), which had lower C/N ratios (Table 1). Plant material with a high initial C/N ratio would have a greater recalcitrant fraction represented by k_R (Wieder and Lang, 1982). The absence of any significant difference in k_R values for C and N curves when comparing *Chromolaena* and *Pueraria* suggested that soil fauna highly contributed to the decomposition of the *Chromolaena* litter recalcitrant pool.

Tian et al. (1997) suggested that the soil fauna contribution to low quality residue decomposition is higher than for high quality residues because they stimulate microbial activity via litter fragmentation and soil-litter comminution.

N supply for maize crops

We utilised an equation based on N remaining in 2 mm mesh-size litterbags (Table 4) versus initial total N (Table 1) in order to model the potential litter N supply, and test the synchrony or asynchrony with the crop demand (Myers et al., 1994). We thus assumed that decomposition between slashing and sowing would be low, since sowing was done yearly just after the first heavy rains and since the time lag between slashing and the beginning of the litterbag studies would not markedly influence the decomposition curves. Maize demand for N was estimated using a sigmoidal growth curve (Myers et al., 1994) obtained in optimal growth conditions (Figure 6). There was asynchrony between litter N release and crop demand during the first month for the two years and for all the treatments. Luna-Orea et al. (1996) concluded also to asynchrony with *Pueraria* litters, as 40-60% N disappearance occurred 2 weeks after slashing the cover. N production seemed insufficient in the 6MF treatments. In the 18MF treatments, only *Pueraria* was able to supply a suitable quantity of N during the 2 years.

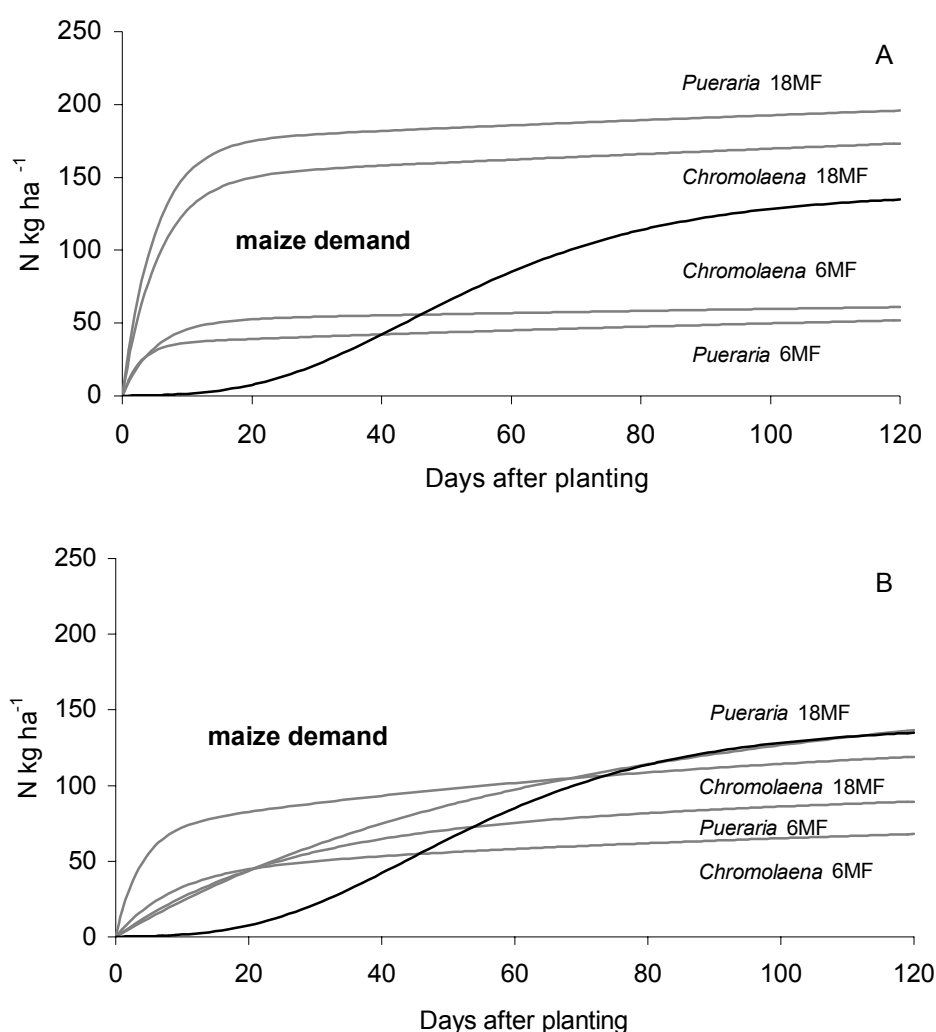


Figure 6. Theoretical N supply by litters (values from Tables 1 and 4) with N demand for maize crop (field values). (A), 1998; (B) 1999.

It was hard to determine the immediate behaviour of N loss from litterbags. The effect of litter fragmentation, especially in the *Chromolaena* leaf litter could lead to an over-estimate of the rapidity of decomposition. N could also be immobilised by soil fauna for a short time in combs (Abbadie et al., 1989) or immobilised by microbes associated with soil organic matter (Myers et al., 1994). In the earliest decomposition stage, soil fauna C incorporation would be high and enhanced N demand for microbial growth. During the first period of maize growth, we thus assumed that N could be immobilised in the soil in all treatments, but to a greater extent with *Chromolaena* litters than with *Pueraria* litters, as indicated by the greater C/N ratio (Myers et al., 1994; Mary et al., 1996).

Consequences on soil organic matter

Residue input may influence the quality of soil organic matter (SOM) and the C and N stocks, which are indicators of sustainability (Parton et al., 1996). The incorporation of litter biomass to SOM was difficult to quantify as the subsequent fate of litter lost from litterbags was difficult to assess. C could be lost through microorganism and soil fauna respiration, displacement of litter by fauna and leaching (Wachendorf et al., 1997). Fungus-growing termites contributed to lignin degradation, which in turn could limit C incorporation to the SOM (Lepage et al., 1993). They could also rapidly enhance litter N mineralisation in their combs (Abbadie and Lepage, 1989) during a period of low N uptake by plant roots.

The contribution of soil fauna to SOM maintenance is generally considered to be positive (Tian et al., 1997). Slow litter decay might result in an accumulation on the surface to the detriment of soil organic matter N (Bernhard-Reversat, 1996). As our organic inputs were surface-applied, we supposed that soil fauna via fragmentation increased the surface area of microbial activity in litter and accelerated humification processes (Tian et al., 1997).

In forest ecosystems, about 20% of the litter carbon is assumed to be incorporated into SOM. This proportion roughly corresponds to the lignin content of the litter (Paul and Clark, 1987). *Chromolaena* might add more resistant organic compounds to SOM than *Pueraria* due to its higher lignin content. High quality residue such as *Pueraria* material was generally better in supplying N in the short term than low quality residue such as *Chromolaena* material, which is known to have a better effect on SOM maintenance (Myers et al., 1994). Although *Chromolaena* produced more C than *Pueraria*, the legume species produced more N.

We supposed that the major difference in soil organic stocks would occur between cropping systems with 6 month fallow and 18 month fallow in relation with differences in organic input and the duration of cultivation. Further investigations are needed to understand the effects of these cropping systems.

LIAISON CHAPITRE 1 – CHAPITRE 2

Résumé Chapitre 1

Le potentiel de minéralisation des litières au laboratoire est corrélé avec leur rapport C/N, plus élevé pour *Pueraria* (C/N entre 20 à 23) que pour *Chromolaena* (C/N entre 25 à 43). En 1998 la vitesse de disparition des litières suivie avec des « sacs de décomposition » est beaucoup plus rapide qu'en 1999 en relation au début du cycle de décomposition avec le régime pluviométrique. Les deux années la quantité de litières présentes après la coupe détermine le taux de décomposition à moyen terme des litières. Ces dynamiques, modélisées sur deux années, permettent de distinguer un compartiment de litières à disparition rapide et un compartiment à disparition lente. La comparaison des pertes en C dans des « sacs de décomposition » à maille différente montre que l'activité de la mésofaune et de la macrofaune du sol pourrait être responsable de la disparition de 50 % des litières au début du processus de décomposition et de 35% à la fin du processus de décomposition. Leur action de fragmentation et d'incorporation au sol des litières (meules des termites champignonnistes situées à la surface du sol) permet une disparition comparativement plus rapide des litières de *Chromolaena* que celles de *Pueraria*. L'application des modèles aux données obtenues sur les mobilisations en N des jachères en relation avec les besoins de la culture en N indique (i) un risque « d'asynchronie » en début de cycle (ii) une offre insuffisante en fin de cycle pour les SC6MJ (iii) peu de différenciation entre l'offre de *Chromolaena* et celle de *Pueraria*.

Introduction Chapitre 2

Au cours des saisons 1998 et 1999 les études suivantes sont réalisées pour porter un diagnostic sur la relation entre l'offre en N du sol (0-10 cm) et des litières et la mobilisation en N du maïs :

- caractérisation des biomasses mobilisées par les parties aériennes des jachères avant semis de la culture;
- évaluation de l'effet du système de culture sur la température et l'humidité du sol en surface;
- offre en N minéral du sol pendant le cycle cultural du maïs;
- mobilisation en N par la culture.

Les études sur l'origine de l'offre en N du sol sont complétées par :

- une étude sur les variations *in situ* de la biomasse microbienne en 1998;
- une étude sur la dynamique de N minéral en période de jachère précédant les périodes de culture;
- une étude des variations de l'abondance naturelle ^{15}N pour deux systèmes de culture à partir de déterminations effectuées sur chacun des compartiments de l'agrosystème : le sol, la litière et la culture.

CHAPITRE 2

OFFRE EN N *IN SITU* DU SOL EN SURFACE POUR DES SYSTEMES DE CULTURE DE MAÏS A JACHERES DE *CHROMOLAENA ODORATA* ET *PUERARIA PHASEOLOIDES*

Projet d'article

Patrice Autfray¹, Robert Oliver², Luc Abbadie³, André Mariotti⁴

¹ Cirad BP 1304, 97600, Mamoudzou, Mayotte, France

² Cirad TA 40/01, avenue agropolis, 34498, Montpellier, France

³ Cnrs- Ens, 46 rue d'Ulm, 75005, Paris, France

⁴ Université Pierre et Marie Curie, 4 place Jussieu, Paris, France

INTRODUCTION

La zone à forêt semi-décidue de Côte d'Ivoire est une région à forte de production de céréales. La pluviométrie est modérée (1200 à 1600 mm/an) et concentrée principalement sur 7 mois avec un régime bimodal. Les stocks organiques sont élevés après défriche forestière (Gigou, 1995). Dès la mise en jachère après une période de culture de courte durée, la colonisation des terres est dominée par *Chromolaena odorata*. Cette espèce vivace, au port érigé, permet à de nombreux agriculteurs de pratiquer une agriculture sur brûlis avec une période de jachère réduite (Mollard, 1993; Slaats, 1995). L'effet positif du brûlis sur la fertilité du sol à court terme a souvent été décrite et notamment son impact sur la minéralisation de l'azote du sol en surface (Raison, 1979 ; Sanchez, 1982).

Dans cette région la recherche agronomique s'attache à réduire, dans le cadre de systèmes de culture céréalières à faibles intrants, la durée de la jachère tout en limitant l'envahissement des parcelles par des adventices nocives (graminées) et en garantissant à court terme le maintien d'une source en N organique satisfaisante (Becker et Johnson, 1998). Parmi les espèces de jachère améliorée testées, *Pueraria phaseoloides* pour la culture de maïs répond le mieux à ces critères. Elle peut être installée en dérobée la première année dans la culture et grâce à sa croissance volubile elle maîtrise *Chromolaena* (Autfray et Gbaka Tchetché, 1998). Cette légumineuse vivace est également utilisée dans d'autres régions pour améliorer le statut organique de sols peu fertiles destinés à la production de cultures annuelles (Koutika et al., 2001 ; Tian et al., 1999).

Des études ont montré que ces deux espèces peuvent être gérées avec la culture en couverture vivante (Akobundu et Okigbo, 1984 ; Lal, 1995) et se pérennisent dans le cas d'une culture de maïs réalisée pendant le premier cycle (Autfray et Gbaka Tchetché, 1998). Après la coupe manuelle de la jachère dès le début de la principale saison des pluies, les repousses sont maîtrisées par des herbicides et la culture est implantée directement dans les mulchs résiduels. Avant la récolte du maïs les espèces reprennent leur croissance jusqu'à recoloniser la parcelle.

Une expérimentation mise en place en 1995 a pour objectif de comparer l'utilisation de *Chromolaena* et *Pueraria* dans le cadre de systèmes de cultures alternant une culture de maïs et une phase de jachère. L'objectif est de déterminer pour des durées de jachère de 6 mois et 18 mois, si l'offre en N peut être satisfaite sans utilisation d'engrais N. Une étude précédente étudiait, *in situ*, la dynamique en C et en N des litières aériennes en 1998 et 1999 (Autfray et al., soumis).

En raison de la concentration des apports organiques en surface et de la localisation des racines à turn-over rapide dans les premiers cm du sol, il est généralement admis sous forêt et dans les systèmes de culture sans travail du sol, que : (i) l'essentiel des stocks organiques se trouve dans les premiers cm du sol (Jenny et al., 1981; Juo, 1980; Smith et al. 1994) , (ii) le potentiel de minéralisation des matières organiques du sol (MOS) est plus élevé en surface qu'en profondeur (Smith, 1992 ; Luizao et al., 1999), (iii) les horizons exploités en profondeur par la culture ont des dynamiques de N minéral proches de celles des horizons de surface

(Triomphe, 1996), (iv) la faune du sol peut, par incorporation des résidus organiques, activer leur minéralisation (Tian et al, 1997).

Dans des systèmes de culture sans travail du sol l'offre en N du sol résulte des interactions complexes du sol et des litières sous l'influence du microclimat créé par ces dernières (Myers et al., 1994 ; Schomberg et Cabrera, 2001). Les processus de minéralisation des MOS sont sous l'influence de l'alternance des périodes de pluies et de périodes sèches (Gigou, 1995 ; Wong et Nortcliff, 1995). Les litières en surface même en quantité limitée, peuvent agir sur la température et l'humidité du sol, facteurs qui influencent leur potentiel de minéralisation (Scholes et al., 1994). La qualité de la litière, très liée à sa teneur en N, est susceptible d'interférer : (i) sur la détermination de l'offre en potentielle en N assimilable par les plantes (Paul and Clark, 1989), (ii) sur l'ampleur des phénomènes d'immobilisation de N du sol (Smith, 1992), (iii) sur le potentiel de minéralisation des MOS par des effets cumulés (Kuo et Jellum, 2000).

Les pertes en N peuvent provenir de la lixiviation des nitrates issus des litières riches en N rapidement décomposées en début de période de culture (Luna-Orea et al., 1996) ou en période de jachère lorsque le développement des systèmes racinaires des plantes est insuffisant (Myers et al., 1994). Inversement la présence d'une légumineuse dans la succession culturale peut augmenter de façon importante les entrées en N d'origine atmosphérique de l'agrosystème (Becker et Johnson, 1998).

Au cours des saisons 1998 et 1999 les études suivantes ont été réalisées pour porter un diagnostic sur la relation entre l'offre en N du sol en surface et la mobilisation en N du maïs :

- caractérisation des biomasses mobilisées par les parties aériennes des jachères avant semis de la culture;
- évaluation de l'effet du système de culture sur la température et l'humidité du sol en surface;
- offre en N minéral du sol pendant le cycle cultural du maïs;
- mobilisations en N par la culture.

Les études sur l'origine de l'offre en N du sol ont été complétées par :

- une étude sur les variations *in situ* de biomasse microbienne en 1998;
- une étude sur la dynamique de N minéral en période de jachère précédant les périodes de culture;
- une étude des variations de l'abondance naturelle ^{15}N pour deux systèmes de culture à partir de déterminations effectuées sur chacun des compartiments de l'agrosystème : le sol, la litière et la culture.

MATERIEL ET METHODES

Litières

Après la coupe manuelle de la jachère trois échantillons de litières par parcelle élémentaire ont été pris au hasard sur une surface de 0.4 m^2 , séchés à 70°C , puis broyés. Les cendres totales ont été déterminées (550°C pendant 4 h). La teneur en C et N a été mesurée sur des échantillons de 3 à 5 mg avec un Thermoquest NC 2100.

Sol

L'azote minéral *in situ* et la minéralisation nette du sol sur 0-10 cm ont été déterminés à partir d'un échantillon composite par parcelle élémentaire (108 m^2) constitué de neuf carottes de sol d'un volume total de 2300 cm^3 , en réalisant successivement les opérations suivantes directement sur le terrain :

- détermination du poids total humide;
- tamisage à 2 mm;
- extraction de N minéral à partir de 80 gr environ (poids exactement connu) de terre fine par 200 ml environ (volume connu) de KCl molaire. Après une heure d'extraction par agitation, la suspension de sol est laissée à décanter pendant une demi-heure environ et une aliquote est prélevée à l'aide d'une seringue, filtrée stérilement à travers un filtre $0,2 \mu\text{m}$ et conservée dans des vénojects stériles.
- mise en réserve d'environ 50 gr de sol pour mesure de l'humidité pondérale (séchage à 105°C);
- remise en place sur le terrain de trois aliquotes de 300 g environ de terre fine placés dans un tube en PVC selon le dispositif préconisé par Kandeler et al. (1995) pour quantifier la minéralisation nette *in situ*.
- mise en réserve des éléments grossiers pour lavage, séchage à 105°C et pesée.

En 1997 l'azote minéral *in situ* du sol a été déterminé à deux dates pendant la période de jachère. Le suivi de l'azote minéral *in situ* et de la minéralisation nette ont donné lieu en 1998 à sept prélèvements de sol et six incubations entre 3 et 95 jours après semis du maïs (JAS) et pendant la période de jachère à deux prélèvements et deux incubations. En 1999 cette étude a été conduite entre 6 et 97 JAS (Figure 1) à raison de sept prélèvements de sol et six incubations

Les dosages de NH_4^+ et NO_3^- ont été effectués au laboratoire par colorimétrie automatique utilisant la réaction de Berthelot pour NH_4^+ (Fallavier et Egoumenides, 1975) et le dosage des nitrites par le réactif de Griess après réduction des nitrates sur une colonne de cadmium pour NO_3^- .

Les données sont exprimées par unité de surface (kg ha^{-1}) en multipliant la concentration en N (mg kg^{-1}) par le poids de terre sec, obtenu en tenant compte du poids d'éléments grossiers et de l'humidité de la terre fine.

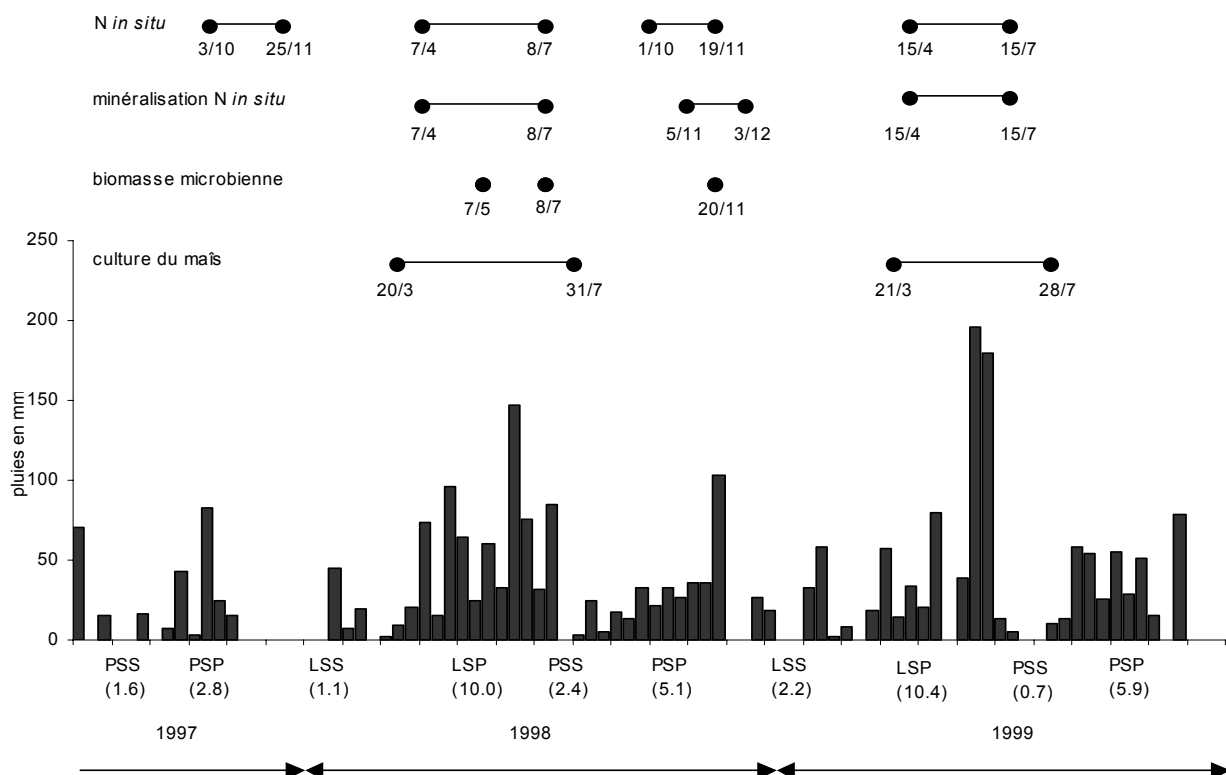


Figure 1. Pluviométrie décadaire du site expérimental de juillet 1997 à décembre 1999 avec les périodes de mesure effectuées sur le sol et les périodes de culture (de la coupe de la jachère à la récolte du maïs).

PSS = petite saison sèche; PSP = petite saison des pluies; LSS= longue saison sèche; LSP = longue saison des pluies. ETP : moyenne journalière estimée respectivement de 3.5, 3.0, 3.7, 4.3 mm . Entre parenthèses moyenne journalière (mm).

La minéralisation nette (N_{mn}) est exprimée pour un nombre de jours n et une période d'incubation entre t_1 et t_2 par la formule (Raison et al., 1987):

$$N_{mn} \text{ kg ha}^{-1} \text{ j}^{-1} = (\text{NH}_4^+ t_2 \text{ kg ha}^{-1} + \text{NO}_3^- t_2 \text{ kg ha}^{-1}) \text{ sol du tube} - (\text{NH}_4^+ t_1 \text{ kg ha}^{-1} + \text{NO}_3^- t_1 \text{ kg ha}^{-1})$$

du sol *in situ*. (1)

Température du sol

La température du sol a été mesurée pour l'ensemble des traitements à trois dates différentes en début du cycle du maïs en 1998 au moyen de thermocouples dont l'extrémité est placée à 5 cm de profondeur. Pour chaque parcelle élémentaire deux mesures ponctuelles ont été effectuées autour de 13 heures et les données ont été traitées sur la moyenne des deux valeurs obtenues.

Humidité du sol

L'humidité du sol a été déterminée par gravimétrie lors des prélèvements effectués pour les suivis de N minéral. Elle est exprimée en % pondéral d'eau par rapport au poids sec de sol obtenu par séchage à 105°C pendant 48 heures.

Biomasse microbienne

En 1998 les 7/5, 8/7 et 20/11, des échantillons de terre fine ayant servi à l'estimation de l'azote minéral ont été utilisés pour la détermination de la biomasse microbienne (Figure 1). La méthode utilisée est celle de la Fumigation-Extraction (Amado et Ladd, 1988). Cette extraction a été effectuée le plus rapidement possible après le prélèvement du sol (deux à quatre jours) à partir d'échantillons conservés au réfrigérateur. La biomasse microbienne est estimée à partir de la quantité N α -aminé provenant des parois microbiennes lysées durant la fumigation au chloroforme. Deux séries d'échantillons, une avec chloroforme et une sans, ont été placées pendant dix jours sous vide dans une cloche en verre. Une extraction par KCl molaire est effectuée sur l'ensemble des échantillons de sol.

Le carbone de la biomasse microbienne C (BM_C) est obtenu en appliquant le facteur multiplicateur de 21 à la teneur en N α -aminé (Amado et Ladd, 1988) :

Maïs

Les rendements en paille et en grain ont été déterminés au champ sur des placettes de 50 m² par parcelle élémentaire. La matière sèche (MS) en tiges a été déterminée par séchage à 70°C pendant 96 heures de 30

tiges prises au hasard par placette. Le rendement en grain sec a été déterminé par une pesée totale de la récolte après séparation des rafles et spathes et une détermination de l'humidité du grain pendant 72 heures à 70°C. Un échantillon représentatif de paille et de grain a été conservé pour chaque placette pour analyse de la teneur en N total (Thermoquest NC 2100).

Etude $\delta^{15}\text{N}$

Les mesures de $\delta^{15}\text{N}$ pour le sol ont été faites à partir de prélèvements effectués en mars 1995 et en mars 1999. Les mesures sur les végétaux ont été faites à partir de prélèvements effectués en mars 1999 pour les litières et en mai 1998 et 1999 pour le maïs.

Les déterminations ^{15}N ont été réalisées avec un CHN NA 1500 (Carlo Erba) associé à un spectromètre de masse (Finningan Delta E).

Les données de l'échantillon sont exprimées en ‰ $\delta^{15}\text{N}$:

$$\delta^{15}\text{N} = ({}^{15}\text{R}_{\text{échantillon}} - {}^{15}\text{R}_{\text{standard}} / {}^{15}\text{R}_{\text{standard}}) * 1000 \quad (2)$$

où ${}^{15}\text{R} = {}^{15}\text{N} / {}^{14}\text{N}$, et standard = N_2 de l'atmosphère ; par définition $\delta^{15}\text{N}_{\text{atmosphère}} = 0 \text{ ‰}$ (Mariotti, 1983).

Une estimation du pourcentage de N dérivé de la fixation biologique (N_{dfb}) dans la nutrition azotée d'une plante au champ peut-être faite selon Shearer et Kohl (1986), et Peoples et Herridge (1990), par :

$$\% \text{N}_{\text{dfb}} = (\delta^{15}\text{N}_{\text{nf}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{pf}}) / (\delta^{15}\text{N}_{\text{nf}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{pfr}}) \quad (3)$$

où $\delta^{15}\text{N}_{\text{nf}}$ correspond au $\delta^{15}\text{N}$ d'une plante non fixatrice prélevée sur le lieu, $\delta^{15}\text{N}_{\text{pf}}$ correspond à celui de la plante fixatrice ou cultivée en association ou en succession avec la plante fixatrice et $\delta^{15}\text{N}_{\text{pfr}}$ étant une mesure de référence effectuée au laboratoire de l'abondance isotopique de la plante fixatrice cultivée strictement sans N.

La valeur de $\delta^{15}\text{N}_{\text{pfr}}$ du *Pueraria* établie en milieu nutritif sans N minéral prise dans notre étude (-1.22‰) est celle citée par Boddey et al. (2000)

Analyses des données

Les données des parcelles élémentaires ont été soumises à une analyse de variance à un seul facteur. Les moyennes des traitements sont comparées par un test Newman-Keuls ou au moyen de la valeur de la plus petite différence significative (PPDS) au seuil de signification de $P = 0.05$, de même que la significativité des régressions.

RESULTATS

Matière sèche, mobilisation et teneur en N des litières

La MS et les mobilisations en N des litières varient fortement suivant les années pour les SC6MJ respectivement, de 1.4 à 7.5 t MS ha^{-1} et de 20 à 142 kg N ha^{-1} (Tableau 1). L'année 1998 est marquée par de plus faibles mobilisations en MS et en N. Cho 6M et Pue 6M ont des MS comparables les deux années et supérieures à Tem 6M (significatif en 1999). Les mobilisations en N sont significativement plus élevées en 1999 pour Pue 6M. La MS et les mobilisations en N des litières des SC18MJ sont moins variables et comparativement plus importantes que pour les SC6MJ, respectivement de 10.9 à 20.4 t ha^{-1} et de 140 à 301 kg ha^{-1} (Tableau 1). L'année 1998 est marquée par de plus fortes mobilisations. Pour la MS Cho 18M a des valeurs significativement supérieures à Pue 18M et pour N Pue 18M produit plus de N (significatif en 1999). Dans le cas des systèmes à *Pueraria* les teneurs en N des litières sont voisines de 2% quelle que soit la durée de la jachère. Les litières collectées sur les traitements Tem 6M, Cho 6M et Cho 18M ont des teneurs globalement plus faibles (entre 1.12 à 1.68%) (Tableau 1).

Tableau 1. Matière sèche, mobilisation et teneur en N des litières aériennes après coupe des jachères en 1998 et 1999 pour cinq traitements.

Traitements	Matière sèche (t ha ⁻¹)		Teneur N (%)		Mobilisation N (kg ha ⁻¹)	
	1998	1999	1998	1999	1998	1999
Tem 6M	1.4c (0.25)	4.7d (0.65)	1.52b (0.16)	1.33b (0.29)	20b (2.0)	59c (11.0)
Cho 6M	4.6c (0.95)	6.9c (0.37)	1.68ab (0.03)	1.24b (0.14)	76b (15.7)	85c (10.2)
Pue 6M	3.4c (0.65)	7.5c (0.40)	2.07a (0.07)	1.88a (0.05)	71b (13.8)	142b (9.5)
Cho 18M	20.4a (3.06)	12.5a (0.69)	1.32b (0.15)	1.12b (0.18)	256a (24.8)	140b (21.9)
Pue 18M	15.2b (1.26)	10.9b (0.21)	1.99a (0.07)	2.07a (0.03)	301a (26.7)	226a (6.7)

Pour chaque colonne les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas statistiquement différentes (P=0.05).

Erreur-types entre parenthèses, n=4.

Température du sol

Des écarts de température du sol à la cote - 5 cm sont relevés aux trois dates de mesure (Tableau 2). Les températures sont significativement moins élevées pour les traitements avec *Chromolaena* et *Pueraria* que pour les témoins. Les températures sont sensiblement plus faibles avec Pue 6M qu'avec Cho 6M alors qu'aucune différence n'apparaît entre Cho 18M et Pue 18M.

Tableau 2. Effet des différents systèmes de culture sur la température du sol à la cote (5 cm) à 13 h en 1998 en début du cycle du maïs.

Traitements	Température du sol(°C)		
	16	Jours après semis du maïs 18	20
Tem 6M	36.5ab (0.90)	36.0a (0.43)	35.2a (0.19)
Cho 6M	35.3b (0.46)	34.8b (0.37)	34.1b (0.27)
Pue 6M	33.3a (0.41)	33.1c (0.27)	33.1c (0.42)
Tem 18M	37.8a (0.22)	36.4a (0.30)	35.6a (0.29)
Cho 18M	31.8d (0.20)	31.7d (0.18)	32.0d (0.16)
Pue 18M	31.6d (0.27)	31.3d (0.15)	31.7d (0.25)

Pour chaque colonne les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas statistiquement différentes (P=0.05).

Erreur-types entre parenthèses, n=4.

Humidité du sol

On constate des différences importantes d'humidité du sol (15.7 à 35.7 % sur 0-10 cm) durant la culture du maïs. L'humidité varie entre la capacité au champ (estimée à 34%) et des valeurs proches du point de flétrissement (autour de 20%). Des périodes particulièrement sèches sont constatées à 10 JAS en 1998 et 47 JAS en 1999 (Tableau 3).

Tableau 3. Effet des systèmes de culture sur l'humidité du sol en surface (0-10 cm) pour différentes dates en 1998 et 1999 durant la culture du maïs.

Traitements	Humidité pondérale (%)													
	1998							1999						
	3	17	Jours après semis			81	95	6	20	Jours après semis			83	97
			33	47	66					34	47	59		
Tem 6M	22.1	15.7	24.3	24.4	20.2	29.9	25.5	18.0	20.4	27.1	18.4	21.3	31.4	19.8
Cho 6M	22.6	18.4	27.9	23.5	21.1	22.9	23.6	16.6	17.5	27.3	19.4	20.7	32.2	20.1
Pue 6M	23.9	20.2	28.8	25.7	21.8	25.9	24.8	22.3	26.9	30.8	22.2	23.0	35.3	24.5
Tem 18M	24.8	20.2	28.3	27.8	24.1	29.8	29.9	20.0	22.6	28.8	19.9	23.0	35.3	22.0
Cho 18M	25.6	26.9	29.2	22.9	25.0	31.4	29.5	25.2	25.7	31.3	24.3	24.8	35.7	26.1
Pue 18M	23.4	23.4	27.7	23.5	22.9	26.1	26.3	24.7	28.7	31.4	23.7	24.0	33.8	27.0
PPDS (0.05)	NS	5.2	NS	NS	NS	2.4	NS	4.4	2.9	3.4	2.4	NS	NS	3.4

NS= non significatif.
N = 4.

Les humidités mesurées avec Pue 6M sont les deux années généralement plus élevées notamment en 1999 (différences significatives). En 1998 Cho 6M semble mieux conserver l'humidité que Tem 6M alors qu'en 1999 c'est l'inverse (différences non significatives).

Pour les SC18MJ les humidités du sol sont plus faibles avec Tem 18M notamment en 1999 où les différences sont significatives. Avec Tem 18M les humidités du sol les deux années sont plus élevées que sur Tem 6M et Cho 6M. Les différences entre Cho 6M et Cho 18M sont plus élevées que celles entre Pue 6M et Pue 18M.

Quantité de N du sol *in situ* pendant la culture de maïs

Jusqu'à quatre semaines après semis du maïs les quantités de N minéral du sol (jusqu'à quatre semaines) différent nettement selon les traitements. Le pic de minéralisation nette apparent dans les dix premiers cm de sol est plus important en 1998 qu'en 1999. Cette année là l'azote minéral est plus élevé dans le cas des SC18MJ alors qu'en 1999 la durée de jachère influe peu sur N minéral (Figure 2). En 1998 seules les valeurs de Pue 18M sont significativement supérieures à Con 6M et Cho 6M. En 1999 Pue 6M présente des valeurs significativement supérieures à Con 6M et Cho 6M.

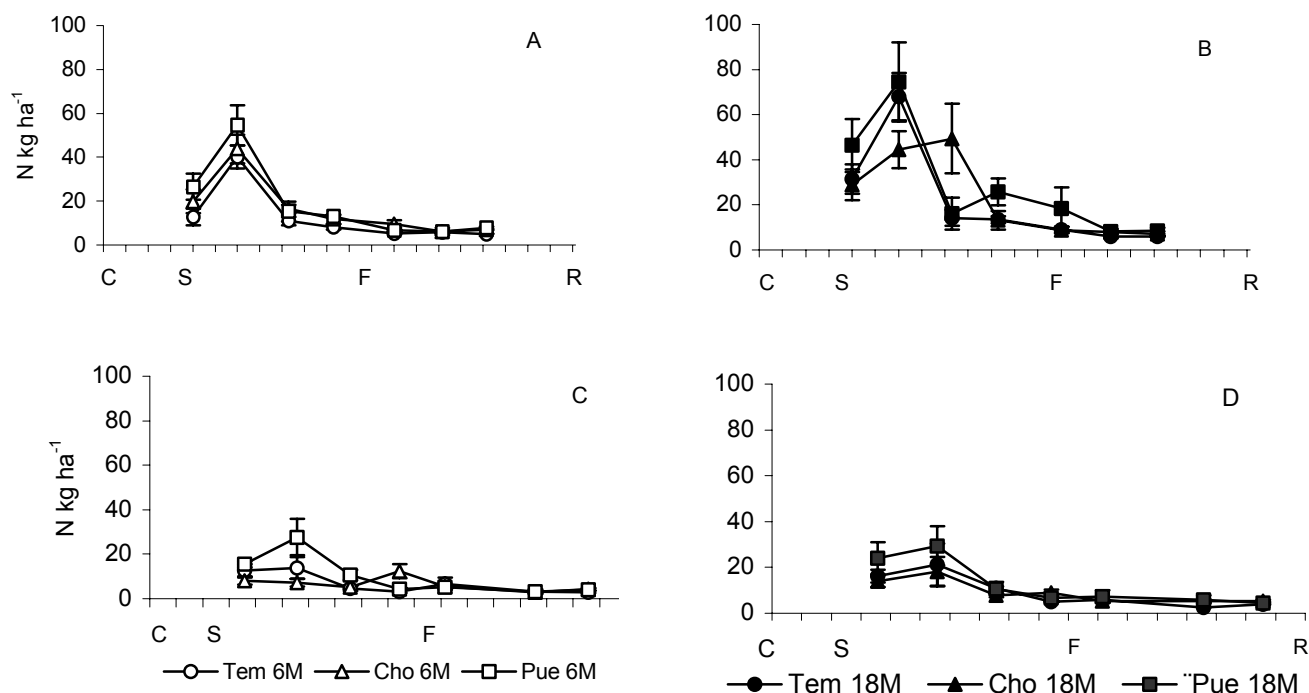


Figure 2. N minéral du sol ($\text{kg ha}^{-1} \text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) sur 0-10 cm à différentes dates pendant la période de culture du maïs pour les six traitements (avec erreur- types, $n=4$) en 1998 et 1999.

C, S, F, R, respectivement coupe de la jachère, semis, floraison et récolte du maïs.

A et B ¹, 1998 : 3, 17, 33, 47, 66, 81, 95 JAS (jours après semis).

C et D ², 1999 : 6, 20, 34, 47, 59, 83, 97 JAS.

¹: PPDS (0.05) successivement: NS (non significatif), NS, 21.5, 9.6, NS, NS, NS.

²: PPDS (0.05) successivement : NS, NS, 4.4, 4.8, NS, NS, NS.

En milieu de cycle (environ 3 semaines avant et après la floraison du maïs) les valeurs sont plus élevées en 1998 sur les SC18MJ. En fin de cycle du maïs les teneurs en N minéral du sol deviennent faibles pour tous les traitements.

Minéralisation nette N pendant la culture de maïs

Les données estimées de minéralisation nette présentent une forte variabilité intra-traitement et les différences entre traitements sont généralement non significatives (Figure 3).

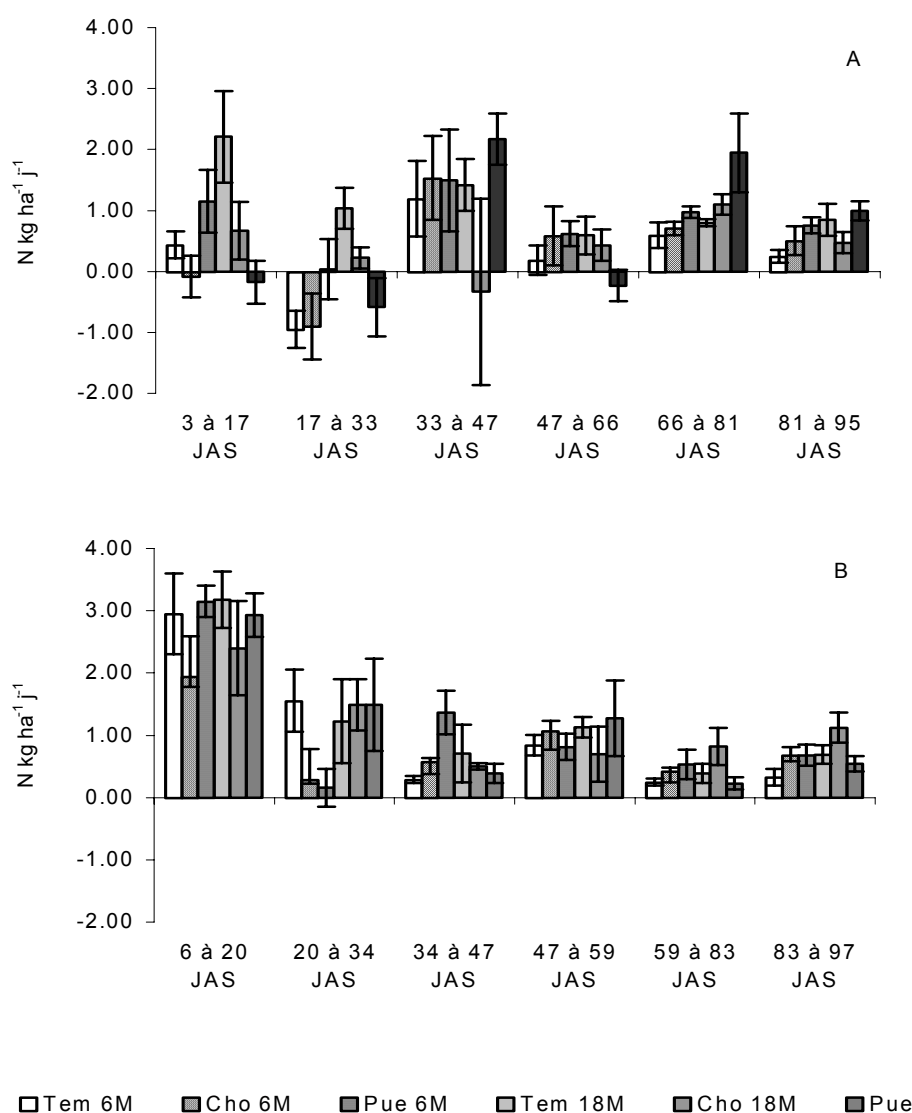


Figure 3. Minéralisation nette du sol sur 0-10 cm ($\text{kg ha}^{-1} \text{j}^{-1} \text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) déterminée in situ pendant la période de culture du maïs pour les six traitements (avec erreur-types, $n=4$) en 1998 (A) et 1999 (B). JAS : jours après semis.

A, 1998 : test ou PPDS (0.05) successivement : 1.35, 1.14, NS (non significatif), NS, NS, 0.48.

B, 1999 : test ou PPDS (0.05) successivement : NS, 1.03, NS, NS, NS, 0.43.

En 1998 (Figure 3-A) une première période entre 3 et 33 JAS est marquée par des minéralisations nettes faiblement positives ou négatives sauf pour Tem 18M. Entre 33 et 95 JAS les minéralisations sont positives.

Globalement pour les SC6MJ la minéralisation tend à décroître pour Pue 6M, Cho 6M et Tem 6M. Pour les SC18MJ les valeurs paraissent globalement plus élevées avec *Pueraria* entre 33 et 95 JAS.

En 1999 (Figure 3-B) les valeurs les plus élevées de minéralisation nette sont obtenues en début de cycle (6 à 20 JAS) pour tous les traitements. Pour les SC6MJ la minéralisation tend à être plus forte sous *Pueraria* que sous *Chromolaena* (6 à 20 JAS et 34 à 47 JAS) alors qu'elle apparaît plus forte avec Tem 6M qu'avec Chro 6M (6 à 20 JAS et 20 à 34 JAS). Les valeurs obtenues avec les SC18MJ ne montrent pas de différences majeures entre traitements et sont du même ordre de grandeur que pour les .

Mobilisation de N par le maïs

Les mobilisations en N dans les parties aériennes du maïs sont plus importantes en 1998 qu'en 1999 (Tableau 4).

Tableau 4. Mobilisation en N des parties aériennes du maïs en 1998 et 1999 pour les six traitements.

		Traitements					
		Tem 6M	Cho 6M	Pue 6M	Tem 18M	Cho 18M	Pue 18M
Grains (kg ha ⁻¹)	1998	68.9d (5.0)	77.5cd (5.3)	94.6b (0.9)	105.2a (3.4)	86.4bc (3.0)	86.7bc (3.6)
	1999	56.3c (7.4)	57.9c (7.4)	91.7a (2.4)	81.3ab (4.5)	68.8bc (7.0)	85.4bc (2.5)
Tiges (kg ha ⁻¹)	1998	33.4d (2.9)	46.0c (5.4)	58.1b (2.6)	53.4bc (2.0)	69.7a (3.8)	76.4a (2.5)
	1999	26.3a (6.6)	26.8a (2.5)	45.3a (3.5)	31.4a (5.4)	35.5a (4.1)	44.9a (4.3)

Pour chaque colonne les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas statistiquement différentes (P=0.05).

Erreur-types entre parenthèses, n=4.

Pour les SC6MJ les mobilisations en N dans les grains et les pailles sont les deux années supérieures dans le cas du traitement Pue 6M (non significatif pour les tiges en 1999). Avec Cho 6M les mobilisations sont supérieures à Tem 6M en 1998 (significatif pour les tiges en 1998) et sont voisines en 1999.

Pour les SC18MJ peu de différences entre traitements apparaissent sauf avec Tem 18M pour les mobilisations en grains qui sont plus fortes en 1998 et plus faibles en 1999 comparativement aux autres traitements.

Biomasse microbienne

Les mesures de biomasse microbienne évaluées sur des échantillons frais montrent pour tous les traitements des valeurs sensiblement plus fortes en début de cycle (7/05) de culture du maïs qu'en fin de cycle (8/07) (Figure 4). A ces deux dates les valeurs les plus faibles sont obtenues pour les traitements « témoins » (différences significatives). Aucune différence n'apparaît entre les traitements à base de jachère à *Chromolaena* et *Pueraria*. En fin de courte saison des pluies (20/11) les valeurs sont plus élevées pour les traitements en jachère de longue durée.

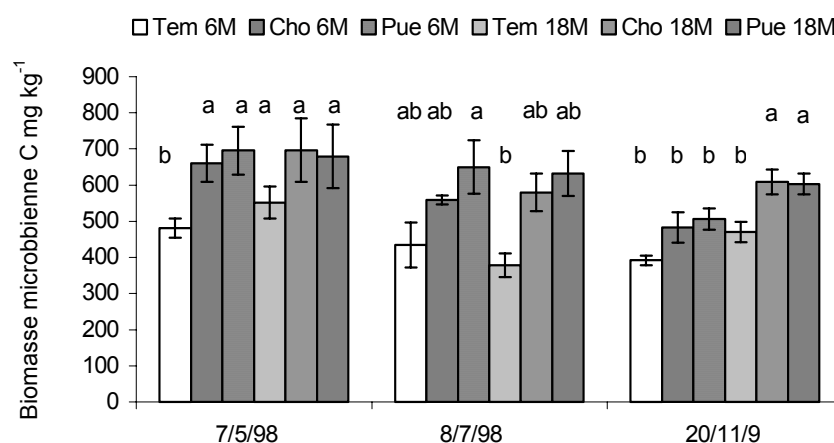


Figure 4. Biomasse microbienne C du sol sur 0-10 cm obtenue par la méthode fumigation-extraction pour les six traitements (avec erreur-types, n=4) en 1998 à 48, 110 et 245 jours après la coupe de la jachère. Humidité pondérale moyenne du sol : 7/5/98 = 27.0%; 8/7/98 = 26.6%; 20/11/98 = 16%.

Pour une date chaque les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas statistiquement différentes (P= 0.05).

Humidité et teneur en N minéral du sol pendant la période de jachère

En période de jachère (PSS et la PSP), l'humidité du sol suit la même tendance les deux années de mesure avec une meilleure conservation de l'humidité pour les traitements avec *Pueraria* aussi bien en jachère de courte que de longue durée (Tableau 5).

Les deux déterminations de N minéral effectuées en PSP 97 indiquent les plus fortes teneurs en N pour le traitements avec Pue 6M (différence significative avec Cho 6M le 3/10/97 et avec tous les traitements le 25/11/97). En 1998 les valeurs obtenues sont beaucoup plus faibles que pour la première date de 1997 avec des teneurs plus élevées dans le cas du traitement Pue18M par rapport aux autres traitements (différence significative le 5/11/98).

Les valeurs de minéralisation nette sont bien inférieures à celles mesurées pendant la culture du maïs. Aucune différence significative entre traitements n'apparaît. Sur les deux périodes nous constatons les mêmes tendances à savoir pour les SC6MJ des valeurs sensiblement plus élevées dans le cas de Pue 6M et pour ce qui est des SC18MJ une minéralisation inférieure pour le traitement Cho 18M.

Table 5. Humidité pondérale, N minéral, minéralisation nette N ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) in situ pendant les périodes de jachère pour les six traitements en 1997 et 1998.

Traitement	Humidité pondérale (%)				N sol (N kg ha^{-1})				Minéralisation nette ($\text{N kg ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$)	
	1997		1998		1997		1998		1998	
	3/10	25/11	5/11	19/11	3/10	25/11	5/11	19/11	5/11 au 19/11	19/11 au 3/12
Tem 6M	22.1	16.8	24.9	14.5	9.85	2.08	3.28	4.25	0.12	0.34
Cho 6M	18.1	15.1	21.9	12.9	7.03	2.28	4.10	6.50	0.23	0.28
Pue 6M	23.2	19.7	26.1	16.8	19.97	6.15	4.17	7.30	0.34	0.47
Tem 18M	22.5	16.2	24.7	15.3	12.27	2.68	3.25	5.40	0.24	0.45
Cho 18M	21.6	17.4	22.9	14.9	12.23	2.80	3.88	5.53	0.12	0.31
Pue 18M	23.3	20.9	26.2	17.1	17.27	4.28	8.52	8.65	0.27	0.49
PPDS 5% NS = non significatif. n = 4.	2.6	3.7	2.9	1.7	6.41	1.74	2.60	NS	NS	NS

Etude $\delta^{15}\text{N}$

A la mise en place du dispositif expérimental (1995) les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ du sol en surface sont nettement positives (+8.83‰) et peu différentes du sol quatre années plus tard pour les traitements Cho 6M et Pue 6M (Tableau 6). Elles sont homogènes pour les couches de sol 0-5 et 5-10 cm.

En 1999 les litières de *Chromolaena* et de *Pueraria* ont des valeurs $\delta^{15}\text{N}$ significativement différentes avec une valeur nettement plus faible pour la légumineuse +3.38 contre +6.34 ‰ pour *Chromolaena*.

Les valeurs $\delta^{15}\text{N}$ des feuilles de l'épi de maïs prélevées à la floraison montrent les deux années des différences significatives entre les systèmes de culture. Les valeurs obtenues avec Cho 6M sont sensiblement les mêmes les deux années et hautement positives (+8.03 et +8.16 ‰). Les valeurs obtenues avec Pue 6M sont significativement inférieures à celles de Cho 6M (+6.50 et +4.86 ‰) avec une différence bien plus marquée en 1999 qu'en 1998.

Tableau 6. Valeurs $\delta^{15}\text{N}$ (‰) du sol, de la litière et du maïs pour une estimation de l'impact de la fixation biologique N_2 pour deux systèmes de culture.

Nature échantillon		Jachère $\delta^{15}\text{N}$ (‰)	Système de culture		Significativité PPDS (0.05)
			<i>Cho 6M</i> $\delta^{15}\text{N}$ (‰)	<i>Pue 6M</i> $\delta^{15}\text{N}$ (‰)	
Sol ^a	0-10 cm	+8.83 (0.52)	-	-	-
	0-5 cm	-	+8.65 (0.26)	+8.91 (0.26)	NS
	5-10 cm	-	+9.68 (0.37)	+8.60 (1.16)	NS
Litière ^b		-	+6.34 (0.28)	+3.28 (0.38)	1.66
Feuille de l'épi du maïs ^c	1998	-	+8.03 (0.36)	+6.50 (0.44)	1.51
	1999	-	+8.16 (0.08)	+4.86 (0.30)	1.18

NS = non significatif.

Erreur-types entre parenthèses.

^a échantillonnage sol : jachère, mars 1995; système de culture, mars 1999; n = 3.

^b échantillonnage litière : mars 1999; n = 4.

^c échantillonnage maïs : mai 1998, n = 3; mai 1999, n = 4.

DISCUSSION

Offre globale en N du sol et mobilisation en N du maïs

La recherche de corrélations entre les quantités de N mobilisées par la culture d'une part et les sommes de quantités de N minéral (i) mesurées *in situ* entre le semis et la récolte du maïs (ii) obtenues par calcul de la minéralisation nette (iii) accumulées dans les tubes d'incubation, fait apparaître une relation positive pour les SC6MJ (Figure 5). Dans ce cas, après quatre (1998) et cinq (1999) périodes de culture successives la fourniture en N devient un facteur de différenciation de la mobilisation en N par le maïs. Les mobilisations en N sont plus élevées dans le cas de la jachère à *Pueraria* en relation, les deux années, avec des quantités de N disponibles au niveau du sol proches de celles obtenues avec les systèmes de culture à jachère de longue durée (Tableau 7). En 1998 l'offre en N du traitement Cho 6M et les mobilisations sont plus importantes que pour Tem 6M alors qu'en 1999 aucune différence n'apparaît entre les traitements. Pour une culture de maïs l'amélioration de l'offre en N après un précédent jachère à légumineuse comparée à une non légumineuse a été relevée dans de nombreuses études notamment dans des sols aux stocks organiques moins élevés (Akobundu et Okigbo, 1984 ; Tian et al., 1993 ; Kuo et Jellum, 2000).

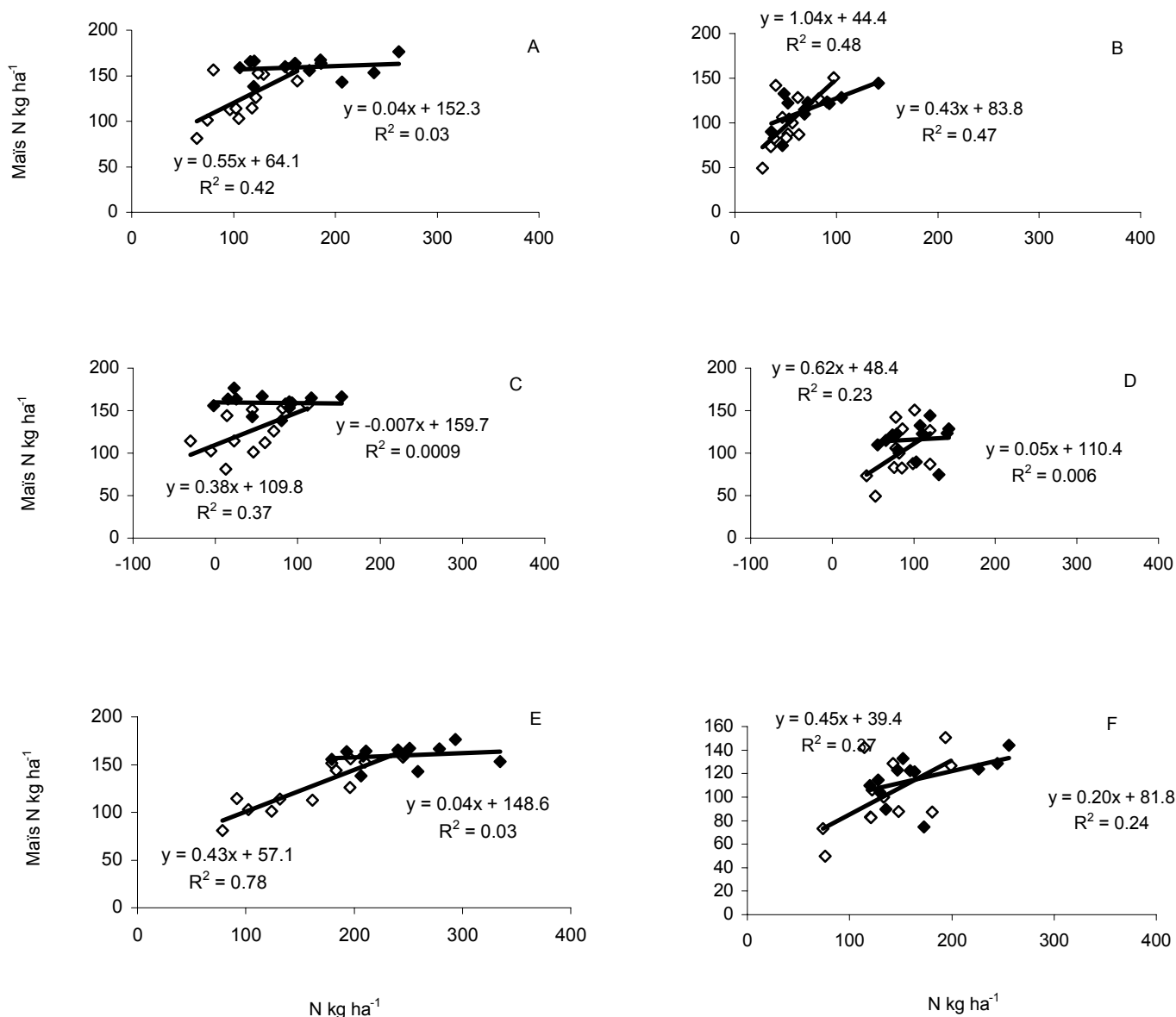


Figure 5. Relation par parcelle élémentaire entre les sommes des quantités de N obtenues in situ (A et B), par minéralisation nette (C et D), cumulées dans les tubes (E et F) du sol sur 0-10 cm et les mobilisations minérales du maïs en 1998 (A, C, E) et 1999 (B, D, F).

◇ systèmes de culture à 6 mois de jachère ; ◆ systèmes de culture à 18 mois de jachère.

Régressions significatives à $P = 0.05$: Systèmes de culture à 6 mois de jachère : A, B, C, E, F ; Systèmes de culture à 18 mois de jachère : B.

Pour les SC18MJ aucune relation entre offre du sol et mobilisations par la culture n'est significative (Figure 5 et Tableau 7). En 1998 les plus fortes valeurs en N obtenues par minéralisation nette avec Tem 18M pourraient être liées à l'effet cumulé d'une moindre immobilisation en raison de l'absence de litières à la surface du sol et à l'effet du brûlis sur la fourniture en N facilement minéralisable (Raison, 1979). En 1999 cet effet positif du brûlis pourrait être masqué par des humidités de sol plus faibles pour ce traitement que pour Cho 18M et Pue 18M (Tableau 3).

Tableau 7. Total des quantités de N mesurées sur le sol (0-10 cm) (1) *in situ* (2) par minéralisation nette (3) dans les tubes d'incubation (0-10 cm) en périodes de culture du maïs et mobilisations totales des parties aériennes de la culture (4).

Traitements	1998 (kg ha ⁻¹)				1999 (kg ha ⁻¹)			
	N sol _i ¹	N sol _{mn} ²	N sol _t ³	N maïs ⁴	N sol _i ¹	N sol _{mn} ²	N sol _t ³	N maïs ⁴
Tem 6M	88.1	22.3	113.9	102.3	47.2	87.5	131.7	82.6
Cho 6M	114.6	33.1	152.2	123.5	45.5	71.2	112.0	84.7
Pue 6M	130.2	73.1	208.8	152.7	70.7	96.2	162.5	137.0
Tem 18M	148.4	101.0	256.0	158.6	65.5	103.0	164.7	112.6
Cho 18M	160.0	39.0	207.0	156.1	65.0	104.7	164.2	104.3
Pue 18M	198.0	55.3	261.8	163.1	88.7	95.2	179.5	130.2
PPDS (0.05) n = 4	61.8	NS	63.7	17.6	NS	NS	NS	24.8

¹ : somme quantité *in situ* de 3 à 95 JAS en 1998 et 6 à 97 JAS entre 1999

² : somme minéralisation-nette de 3 à 95 JAS en 1998 et 6 à 97 JAS entre 1999

³ : somme quantité dans les tubes d'incubation de 3 à 95 JAS en 1998 et 6 à 97 JAS entre 1999

⁴ : quantité accumulée dans les parties aériennes du maïs à la récolte (120 jours environ)

La relation entre offre et mobilisation en N est mieux corrélée avec les données obtenues sur N mesuré *in situ* et le cumul de N minéralisé dans les tubes qu'avec les données de minéralisation nette (Figure 5). Les données de minéralisation nette sont souvent très variables et les coefficients de variation élevés en relation avec une forte incidence des conditions d'humidité sur les processus de minéralisation à l'échelle de la semaine voire de la journée (Birch, 1958 ; Adams et al., 1989 ; Alves et al., 1993). Les minéralisations nettes plus faibles constatées lorsque les périodes d'incubation sont les plus longues (Figure 3) pourrait aussi être imputables à l'immobilisation de N du fait de la présence de racines vivantes découpées lors des prélèvements (Alves et al., 1993). Des études proposent de prendre des temps d'incubation d'une semaine notamment pour en limiter l'impact et mieux tenir compte des apports continus par les litières (Adams et al. 1989). Selon Raison et al. (1987) le tamisage du sol total aurait pour effet de stimuler la minéralisation mais son effet sur la déstructuration qui en résulte pourrait créer des conditions favorisant les processus de dénitrification notamment en fin de saison des pluies où les humidités de sol atteignent ou dépassent la capacité au champ (Dommergues, 1970).

Facteurs contrôlant l'offre en N

Le régime pluviométrique inter-annuel

En régime pluviométrique bimodal l'intensité du pic de minéralisation en N du sol est dépendant des conditions pluviométriques antérieures et notamment de la durée des périodes sèches (Gigou, 1992 ; Wong et Nortcliff, 1995). L'origine de cette source en N rapidement minéralisée (Birch, 1958) serait liée simultanément à (i) l'augmentation de la surface exposée aux attaques ultérieures des microorganismes par fragmentation des MOS (Dommergues, 1970) (ii) la présence de cellules microbiennes mortes (Kuzakov et al., 2000) (iii) l'accumulation de résidus organiques. Ainsi l'augmentation de la présence de C disponible associée à la

réhumectation du sol stimulerait la nitrification du sol par augmentation de la biomasse microbienne et de son activité (Jackson, 2000). En 1998 la plus forte minéralisation (Figure 2) en début de la LSP serait liée aux conditions pluviométriques précédentes plus sèches pendant les PSS, PSP et LSS que pour l'année 1999, respectivement 1.6, 2.8 et 1.1 mm en moyenne par jour contre 2.4, 5.1 et 2.2 (Figure 1).

Le régime pluviométrique est également à l'origine des plus fortes mobilisations en MS et en N des parties aériennes des jachères notamment pour les SC6MJ. Ainsi les plus faibles pluies obtenues pendant les périodes de croissance des jachères (263 mm d'août 1997 à février 1998, pour 1998 ; 605 mm d'août 1998 à février 1999, pour 1999) seraient à l'origine des faibles biomasses mobilisées en 1998 (Tableau 1).

Effet physique de la litière et des régimes pluviométriques intra-annuels

Il est établi que la quantité d'eau disponible peut influencer fortement le niveau de biomasse microbienne et son activité (Smith et al., 1992). Lors des premières périodes d'incubation de sol en 1998 (3 à 17 JAS) et en 1999 (6 à 20 JAS) périodes soumises à des humidités de sol contrastées, nous constatons pour les SC6MJ une bonne corrélation entre les quantités de N accumulées au niveau des tubes d'incubation et l'humidité finale en fin d'incubation pour une gamme d'humidité comprise entre 15 et 25% (Figure 6).

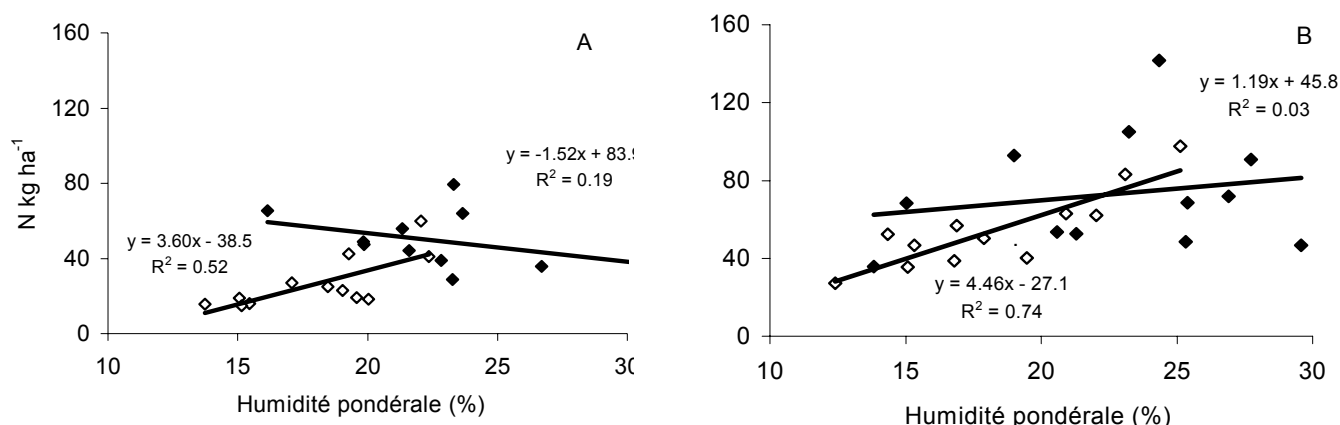


Figure 6. Relation par élémentaire entre l'humidité finale et la quantité de N minéral dans les tubes du sol sur 0-10 cm lors de deux périodes d'incubation.

(A) en 1998 entre 3 et 17 JAS ; (B) en 1999 entre 6 à 20 JAS. A.

Symboles en blanc : systèmes de culture à 6 mois de jachère.

Symboles en noir : systèmes de culture à 18 mois de jachère.

Régressions significatives au seuil de 5% : Systèmes de culture à 6 mois de jachère : A, B.

La présence des litières modifie les conditions de température et d'humidité du sol en surface notamment en début de saison des pluies (Tableaux 2 et 3). Tian et al. (1993) mentionnent dans des conditions bioclimatiques voisines des plus fortes quantités de N minéral associées à de plus fortes humidités sous litières en tout début de saison des pluies. Cet effet sur l'état du sol en surface est limité par la suite dans la durée par la fermeture du couvert végétal et par la décomposition progressive de la litière. Des quantités limitées de litière ont des effets significatifs sur la température et l'humidité du sol. A poids comparable la litière de *Pueraria* conserve mieux l'humidité du sol que la litière de *Chromolaena* (1998). Cet effet physique serait lié

à la limitation de l'évaporation du sol notamment par diminution de la température du sol en surface (Tableau 2) (Tian et al., 1993 ; Scholes et al., 1994). Cependant les différences d'humidité observées ne seraient pas toutes liées strictement à l'effet physique. Le déficit pluviométrique en début de cycle cultural 1999 permet de mettre en évidence une humidité du sol sous litières (Tem 6M et Cho 6M) inférieure à celle du sol nu (Tem 18M). La consommation en eau des plantes pendant la jachère serait différenciée selon les traitements (Tableau 2) pendant leur période de croissance (PSP et PSS) (Tableau 5).

Offre en N à partir des litières

Les litières en début de décomposition peuvent, par minéralisation de produits facilement décomposables (sucres, protéines), offrir une source en NH_4^+ directement absorbée par la culture, nitrifiée ou fixée temporairement sur le complexe argilo-humique (Paul and Clark, 1989). Il semble, hormis l'effet physique des litières, que les plus fortes teneurs en N minéral mesurées les deux années sous les litières de *Pueraria* en période de culture peuvent être en partie liées à de plus fortes mobilisations en N des jachères et à des matériaux plus facilement minéralisables en relation avec une teneur en N plus élevée (Seneviratne, 2000) (Tableaux 1 et 4 ; Figure 2). En 1999 les mesures de $\delta^{15}\text{N}$ des feuilles de maïs indiquent également une plus forte proportion par rapport à 1998 de N ayant pour origine la légumineuse en relation avec une plus forte mobilisation en N dans la litière (Tableaux 1 et 6).

Immobilisation N et biomasse microbienne

Les mesures de biomasse microbienne peuvent être corrélées à la quantité de carbone minéralisable (Smith et al., 1994; Zech et al., 1997 ; Nicolardot et al., 1994). Nous trouvons (i) des valeurs plus élevées de biomasse microbienne en début de cycle pour les traitements avec litières (ii) un niveau plus élevé de cette biomasse microbienne en fin de cycle dans le cas des traitements à plus forte production de litières (Cho 18M et Pue 18M) (iii) une absence d'effet « qualité de litière » avec des valeurs de biomasse microbienne comparables entre les systèmes de culture à *Chromolaena* et à *Pueraria* (Figure 4). L'incorporation des litières au sol plus rapide en 1998 qu'en 1999, suite à des conditions plus humides en début de cycle et à l'action de la faune du sol (Autray et al., soumis), pourrait être à l'origine de l'immobilisation nette de l'azote du sol constatée en 1998 (Figure 3). L'absence de différences dans le niveau de biomasse microbienne malgré des quantités des litières très différentes entre les SC6MJ et SC18MJ suggère une limitation d'ordre physique ou biotique propre aux populations microbiennes comme le suggèrent des études réalisées en milieu contrôlé (Broadbent et Bartholomew, 1948).

Synchronie entre offre du sol et besoins en N de la culture

La demande maximale quotidienne en N d'une culture de maïs est concentrée sur la période encadrant la floraison soit, dans nos conditions, environ 40 et 70 JAS. En début de culture la présence de fortes quantités de N nitrique est un facteur de risque de pertes par lixiviation, comme l'indiquent de nombreux auteurs (Luna-Orea et al., 1996 ; Schroth et al., 2001 ; Myers et al., 1994) ce qui est le cas dans nos systèmes à jachère de *Pueraria*. Inversement Issac et al. (2000) et Triomphe (1996) concluent à une bonne synchronie sous climat

très humide entre l'offre et la demande d'un système « maïs-légumineuse » car le semis du maïs est réalisé juste après le rabattage de la jachère. Nos résultats *in situ* indiquent un risque de décalage entre l'offre et la demande au moment des pics de minéralisation respectivement 17 JAS en 1998 et 20 JAS en 1999, plus important sous litière de *Pueraria* que sous litière de *Chromolaena* (Figure 3). Les litières des traitements Tem 6M et celles de *Chromolaena* peuvent induire un blocage de la minéralisation à mettre en relation avec une teneur des litières en N inférieure au seuil de 1.8% (Tableau 1) en deçà duquel le processus d'immobilisation de N dominerait en début de décomposition (Smith et al., 1992 ; Ibewiro et al., 2000).

En 1998 on constate une meilleure synchronie entre « offre et demande » (sauf pour Tem 18M) qu'en 1999, avec une période à minéralisation nette négative en début de cycle suivie d'une période à minéralisation nette positive. L'azote produit en début de cycle pourrait être temporairement immobilisé par la biomasse microbienne (Figure 3). Ainsi en période de forte production de N minéral la présence de C disponible liée à une incorporation rapide des litières permettrait une limitation des pertes au niveau de l'agrosystème (Ambus et Jansen, 2001).

D'autres pertes notamment par dénitrification au moment des fortes périodes de pluies par création de situations localement et temporairement anaérobies à la surface du sol seraient possibles car les conditions optimales seraient réunies à savoir (Dommergues, 1970) (i) des teneurs élevées en NO_3 (ii) un pH neutre (iii) la présence de C soluble.

Origine de l'offre en N du sol

Généralement dans les systèmes à couvertures végétales l'offre en N pour la culture suivante provient en majeure partie des effets cumulés des apports de litières au niveau des MOS même si les mobilisations des litières sont importantes. L'impact des litières porterait sur le stockage, provisoire, dans des formes de MOS à taux de renouvellement élevé (Mulongoy, 1986 ; Myers et al., 1994). Cet effet des litières pourrait être à l'origine des plus fortes minéralisations en N pendant les périodes de jachère sur les traitements à *Pueraria*. Il est accentué par les plus fortes humidités obtenues avec les couvertures de la légumineuse (Tableau 5).

L'impact de la fixation atmosphérique sur les entrées azotées du système « sol-plante » peut être estimé à partir des mesures de $\delta^{15}\text{N}$ (Tableau 8). On peut utiliser comme valeurs de référence soit le $\delta^{15}\text{N}$ sol ou celui de la litière de *Chromolaena* (Peoples et Herridge, 1990), bien qu'il soit préférable de se baser sur plusieurs valeurs de référence de plantes non fixatrices (Shearer et Kohl, 1986 ; Hogberg, 1997).

Dans l'état actuel de nos connaissances *Chromolaena* est supposée dépendre pour sa nutrition azotée essentiellement des réserves organiques du sol. La différence de valeur $\delta^{15}\text{N}$ obtenue entre le sol au départ (+8.83‰) et celle de la litière de *Chromolaena* (+6.34‰) pourrait avoir plusieurs origines à savoir (i) un effet cumulé des apports atmosphériques par les pluies, environ $5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ (Abbadie et al., 1992) (ii) une nutrition dominée par les nitrates appauvris en ^{15}N (Hogberg, 1997) (iii) des valeurs $\delta^{15}\text{N}$ du sol plus faibles en profondeur qu'en surface (Shearer et al., 1978 ; Hogberg, 1997).

Tableau 8. Bilan de l'étude $\delta^{15}\text{N}$ sur l'influence de la fixation atmosphérique et l'impact de la litière dans la nutrition azotée de la culture de maïs pour le traitement avec *Pueraria* et six mois de jachère en utilisant les deux références possibles, le sol au départ ou la litière de *Chromolaena*.

Estimations		Référence <i>litière Chromolaena 1999</i>	Référence Sol mars 1995
% N du <i>Pueraria</i> d'origine atmosphérique ^a		40.4	55.2
% N du maïs mobilisé d'origine atmosphérique ^a	1998	16.5	
	1999	35.2	
% N maïs origine <i>litière Pueraria</i> ^b	1998	40.8	29.9
	1999	86.9	63.7
kg ha ⁻¹ N maïs origine litière <i>Pueraria</i> ^c	1998	62.4	45.7
	1999	119.0	87.2

^a : à partir des données du Tableau 6.

^b : à partir des estimations précédentes.

^c : à partir des estimations précédentes et des mobilisations totales du maïs dans les parties aériennes.

En absence de données sur la valeur de $\delta^{15}\text{N}$ pour le *Chromolaena*, les valeurs obtenues sur le sol (Yoneyama et al., 1993 ; Shearer et al., 1978), *Pueraria* (Yoneyama et al., 1993) et le maïs (Yoneyama et al., 1993) sont proches de celles de la littérature. L'estimation faite en 1999 de la proportion de N d'origine atmosphérique de la litière à *Pueraria* en 1999 (entre 40.4 et 55.2%) est un peu inférieure à la valeur obtenue (61%) par Becker et Johnson (1998) sur un sol moins riche en N total (1.6 g N kg⁻¹ sol). Les estimations faites avec le maïs indiquent que l'azote d'origine atmosphérique soit incorporé dans les MOS soit mobilisé sur l'année contribue plus en 1999 qu'en 1998 à la nutrition azotée de la culture (estimations respectives entre 63.7 et 86.9% et 29.9 et 40.8%). Les litières jouent donc un rôle important dans la nutrition azotée de la culture même si les quantités moyennes mobilisées (environ 100 kg ha⁻¹ sur 1998 et 1999) paraissent faibles par rapport au stock initial d'azote des sols (environ 3000 kg ha⁻¹ en surface). Une grande partie de l'azote du sol serait donc difficilement minéralisable à court terme, certainement protégé au niveau de microagrégats formés entre argiles, matières organiques et organismes microbiens (Paul et Clark, 1989 ; Smith et al., 1994). L'effet cumulé des apports jouerait ainsi un rôle important pour garantir une offre suffisante en année de faible mobilisation dans les jachères. Pour pouvoir apporter des éléments en matière de durabilité de l'offre en N du sol des études complémentaires devraient être menées pour évaluer l'effet des apports cumulés sur l'offre en N par les MOS, indépendamment des conditions du milieu physique et de la présence des litières en voie de décomposition.

LIAISON CHAPITRE 2 – CHAPITRE 3

Résumé Chapitre 2

L'offre en N *in situ* du sol en surface (0-10 cm) en 1998 et 1999, estimée pendant des périodes de 90 jours durant le cycle du maïs par des mesures et des incubations de sol, est corrélée pour les SC6MJ avec les mobilisations en N du maïs dans les parties aériennes. C'est le traitement avec *Pueraria* qui les deux années satisfait le mieux les besoins en N de la culture et cette offre est comparable à celle des SC18MJ. L'offre en N varie peu selon les traitements des SC18MJ. Le régime pluviométrique intervient (i) à une échelle pluriannuelle, en déterminant, l'intensité du pic de minéralisation en N minéral du sol et les accumulations en N dans les parties aériennes des jachères (ii) à l'échelle de la campagne en interaction avec les litières en surface et l'activité des systèmes racinaires des couvertures végétales. La litière de *Pueraria* semble mieux conserver l'humidité du sol et le système racinaire de *Chromolaena* mobiliser de plus fortes quantités d'eau. En situations hydriques limitantes, la minéralisation nette est corrélée aux humidités de sol. Les litières semblent être à l'origine en 1998 de l'augmentation de la biomasse microbienne du sol en surface créant ainsi une source potentielle d'immobilisation temporaire de N. En 1998 l'offre en N estimée par minéralisation nette indique une meilleure synchronie avec les besoins de la culture malgré une pluviométrie plus abondante en début de cycle par rapport en 1999. Une étude utilisant l'abondance naturelle ^{15}N permet d'estimer que la litière de *Pueraria* peut contribuer fortement à la nutrition azotée de la culture, de 30 à 41% en 1998 et de 64 à 87% en 1999 dans le cadre du système de culture à jachère de 6 mois.

Introduction Chapitre 3

Les précédentes études (Chapitres 1 et 2) se concentraient sur la relation entre « offre-demande » à l'échelle de l'année. Il s'agit ici d'évaluer les effets cumulés des apports organiques au niveau des MOS en surface (0-10 cm). Les études seront principalement réalisées au laboratoire de manière à mieux identifier l'origine des différenciations observées précédemment.

Les différentes étapes sont :

- la caractérisation des apports organiques de surface en quantité et en qualité;
- un diagnostic sur l'activité microbienne au cours de l'expérimentation par une incubation au laboratoire de 24 h de sols sur 0-10cm ;
- une détermination des variations des stocks en C et N des sols sur 0-10 cm en fin d'expérimentation;
- une estimation en fin d'expérimentation des effets des systèmes de culture sur le compartiment de sol à taux de renouvellement élevé par une incubation de longue durée.

CHAPITRE 3

EFFETS DE SYSTEMES DE CULTURE DE MAÏS A JACHERES DE *CHROMOLAENA ODORATA* ET *PUERARIA PHASEOLOIDES* SUR LES MATIERES ORGANIQUES DU SOL EN SURFACE

Projet d'article

Patrice Autfray¹, Robert Oliver², Luc Abbadie³

¹ Cirad BP 1304, 97600, Mamoudzou, Mayotte, France

² Cirad TA 40/01, avenue agropolis, 34498, Montpellier, France

³ Cnrs- Ens, 46 rue d'Ulm, 75005, Paris, France

INTRODUCTION

Le rôle des matières organiques du sol (MOS) sur la fertilité est bien connu à la fois comme source directe en éléments potentiellement minéralisables ou indirectement par leur capacité à créer avec la phase minérale du sol des associations permettant la rétention de l'eau et des nutriments des plantes. En zone tropicale le maintien à court terme des réserves organiques des sols cultivés est un sujet de première préoccupation car les conditions requises à leur perte ou leur décomposition *in situ* sont optimales sous l'effet de l'agressivité des pluies et d'une intense activité microbienne (Zech et al., 1997 ; Smith et al., 1994 ; Noordwijk et al., 1997).

Dans les écosystèmes à l'équilibre, les apports de C dans le sol par la production primaire sont égaux aux pertes par respiration sous forme de CO₂. Le recyclage de N du sol par les plantes et leurs associations bactériennes compensent les pertes par volatilisation et lessivage (Tiessen et Chang, 1998). La reproductibilité des systèmes de culture « défriche-brûlis » nécessite généralement la pratique d'une jachère d'une durée environ trois fois supérieure au temps de culture et la baisse des stocks organiques reste modérée (Greenland et Nye, 1959). Le brûlis permet d'apporter à court terme une source en nutriments et une limitation de l'enherbement (De Row, 1994). Ces agrosystèmes ont des rendements en cultures annuelles modestes et une faible productivité du travail. Ils ne sont plus adaptés aux contraintes liées à la raréfaction des ressources foncières (Fusillier, 1991 ; Oswald, 1997).

Les systèmes de culture à couvertures végétales qui associent travail minimal du sol et jachères améliorées de courte durée semblent pouvoir offrir une alternative intéressante pour un grand nombre d'agriculteurs mais le recours à des intrants peut s'avérer nécessaire (Akobundu et Okigbo, 1984 ; Lal, 1995 ; Séguy, et Bouzinac, 2001). Différentes études en milieu tempéré (Griffin et al., 2000), sub-tropical (Amado et al., 2000) ou tropical (Tian et al., 2000) montrent que la satisfaction en azote des besoins du maïs peut être essentiellement d'origine organique. En Amérique Centrale des agriculteurs pratiquent des systèmes de culture associant à un cycle de maïs, un cycle de plante de couverture dont la fonction est d'assurer une limitation de l'enherbement et une offre en N pendant une période à faible opportunité économique (Triomphe, 1996).

Un premier référentiel pérennisé sur des systèmes de culture de maïs associant des couvertures végétales a été installé en Côte d'Ivoire en 1995. L'objectif de l'expérimentation est de savoir si l'offre en N d'origine organique peut-être satisfaite à court terme et durablement par des jachères de courte durée. Deux espèces sont comparées. La première espèce est *Chromolaena odorata*, subspontanée, introduite jadis comme plante de couverture et considérée aussi comme peste végétale. Elle est réputée maintenir des stocks organiques comparables à ceux de forêt pour des temps de jachère beaucoup plus courts (De Foresta, 1991). La deuxième *Pueraria phaseoloides*, est couramment utilisée en plantations de cultures pérennes pour limiter l'envahissement de *Chromolaena*. Elle est capable de mobiliser de fortes quantités de N grâce à l'efficacité de sa fixation symbiotique (Lehman et al., 1995; Tian et al., 2001).

Pour des couvertures végétales non graminéennes les différenciations des stocks organiques se concentrent en surface sous l'effet des apports des litières des parties aériennes (Smith et al, 1994; Cadisch et Giller, 1996). La relation entre les stocks organiques totaux du sol, leur pourcentage en argiles et le potentiel de minéralisation à court terme a souvent été montrée pour une large gamme de sol (Dimes et al., 1996 ;

Noordwijk et al., 1997 ; Feller et Beare, 1997). Une grande partie de cet azote est cependant non disponible à court terme et protégé par les argiles (Smith et al., 1994). Des changements significatifs sur les stocks en MOS sous l'effet des apports des litières en surface ne peuvent apparaître qu'après de nombreuses années. Triomphe (1996) signale sur 10 années des différenciations concentrées sur les 5 premiers centimètres du sol.

Plus que les stocks globaux c'est le compartiment des MOS à taux de renouvellement élevé, qui semble être un meilleur indicateur du potentiel de l'offre en N des sols cultivés (Duxbury et al., 1989 ; Zech et al., 1997). Ce compartiment représente en milieu tropical une part beaucoup plus faible du stock total par rapport au milieu tempéré, très dépendant de la quantité et de la qualité des apports organiques restitués au sol (Cadisch et Giller, 1996). Cependant du fait d'un taux de renouvellement très rapide, des quantités importantes de N minéral à court terme peuvent être mises à disposition de l'agrosystème (Paul et Clark, 1989). L'identification des constituants de ce compartiment fait l'objet de nombreuses investigations notamment dans les tentatives de modélisation d'évolution à long terme des MOS sous l'effet de différents modes de gestion des sols (Mary et Guérif, 1994 ; Parton et al., 1994).

Il est reconnu que la biomasse microbienne morte et vivante, des produits microbiens, des résidus végétaux, des acides aminés, peuvent contribuer à fournir à l'échelle de l'année une source significative en N minéral (Paul et Clark, 1989 ; Mary et Guérif, 1994). Certaines expérimentations montrent une bonne corrélation entre biomasse microbienne et offre potentielle des sols en N (Mengel, 1996 ; Barrett et Burke, 2000). Cependant il est plus généralement admis que la biomasse microbienne constitue un indice d'augmentation du réservoir potentiel de N mais ne peut prédire de la réelle disponibilité du N immobilisé au niveau des microorganismes (Parton et al., 1984 ; Wilson et al. 2001). Pour caractériser ce compartiment les méthodes de fractionnement physique des MOS sont aussi utilisées. Elles permettent de séparer des résidus végétaux à des degrés différents de transformation et d'accessibilité aux microorganismes (Feller et al., 1991 ; Nacro, 1997 ; Cadisch et al., 1995). Le C soluble présent dans les sols serait également un bon indicateur des changements des MOS entre des parcelles sous culture et en jachère, fortement corrélé à la biomasse microbienne et aux composés organiques récemment apportés (Haynes, 2000).

Les incubations de sol sont les techniques les plus couramment utilisées pour pouvoir quantifier globalement l'ensemble des constituants formant le compartiment des MOS à taux de renouvellement élevé (Myers et al., 1994 ; Nicolardot et al., 1996). Les incubations réalisées sur de courtes périodes en aérobie donnent une estimation d'une disponibilité immédiate en C et en N facilement assimilable sensible aux apports organiques les plus récents (Nacro et al., 1996 ; Chander et al., 1998). Les incubations réalisées sur de plus longues périodes permettent de caractériser les différentes sources à disponibilité progressive à une échelle de temps comparable à celle d'une campagne agricole (Stanford et Smith, 1972 ; Nicolardot et al., 1996). Le suivi conjoint de la minéralisation de C et N offre la possibilité d'associer l'activité microbienne (CO₂ produit) et à un bilan des processus de minéralisation et d'immobilisation lié aux échanges entre les résidus organiques, la biomasse microbienne et la solution du sol (Mary et al., 1996). Sous l'influence d'apports organiques récents ces cinétiques sont étroitement dépendantes de la composition biochimique des apports et notamment de la nature biochimique du C (Mary et al., 1996 ; Dinesh et al., 2001). Ainsi la proportion de C soluble déterminerait à court terme la minéralisation des résidus organiques alors qu'à plus long terme c'est la teneur en lignine qui contrôlerait la minéralisation (Nicolardot et al., 1996 ; Trinsoutrot et al., 2000). Une forte respiration du sol d'origine microbienne pourrait être soit liée à une forte activité minéralisatrice dans le cas d'apports riches en C

soluble soit à une forte immobilisation minérale dans le cas d'apport en C lié à une structure biochimique de type lignine (Nicolardot et al., 1996).

L'objectif du présent travail est d'évaluer l'impact sur les MOS en surface (0-10 cm) de différents systèmes de culture faisant alterner des cycles de culture de maïs et des couvertures vivantes de jachère à *Chromolaena* (Cho) et *Pueraria* (Pue) durant une période de 4 années. Les deux espèces sont testées avec deux durées de jachère de courte durée (6 mois et 18 mois) en comparaison avec un témoin pour chaque durée de jachère. Cette étude complète les données déjà obtenues sur la dynamique C et N des litières de surface *in situ* (Autfray et al. soumis) et le suivi de l'offre en N *in situ* du sol sur 0-10 cm (Autfray et al., à soumettre). Les différentes étapes de ce travail sont :

- la caractérisation des apports organiques de surface en quantité et en qualité;
- un diagnostic sur l'activité microbienne au cours de l'expérimentation par une incubation au laboratoire de 24 h de sols sur 0-10cm;
- une détermination des variations des stocks en C et N des sols sur 0-10 cm en fin d'expérimentation;
- une estimation en fin d'expérimentation des effets des systèmes de culture sur le compartiment de sol à taux de renouvellement élevé par une incubation de longue durée.

MATERIEL ET METHODES

Prélèvement et analyse de végétaux

La production de pailles de maïs a été déterminée au champ de 1995 à 1998 sur des placettes de 50 m² par parcelle élémentaire. La matière sèche en tiges a été déterminée par séchage à 70°C pendant 96 heures de 30 tiges prises au hasard par placette. Après la coupe manuelle de la jachère en 1996, 1997 et 1998, trois échantillons de litières sur 0.4 m² ont été pris au hasard par parcelle élémentaire. Ceux-ci ont été séchés à 70°C. Les cendres totales ont été déterminées de manière à éliminer lors des pesées et des dosages l'effet de la présence de sol associé aux litières. Des séparations entre les différents composants des litières ont été effectuées sur chaque parcelle élémentaire et un échantillon moyen a été constitué. Un échantillon unique de feuilles de jachère a été réalisé sur les systèmes de culture à 18 mois de jachère en réunissant les prélèvements des différents blocs. La production moyenne annuelle de feuilles est estimée par la proportion moyenne de feuilles obtenues en 1996 sur les litières globales après environ une année de croissance (en MS 3 t ha⁻¹ pour *Chromolaena* et 5 t ha⁻¹ pour *Pueraria*).

Pour les pailles de maïs, les litières globales et les prélèvements de feuilles de jachère, la détermination de C et N total a été effectuée sur un échantillon d'environ 3 à 5 mg avec un analyseur Thermoquest® NC 2100. Les teneurs en hémicellulose, cellulose, lignine ont été déterminées par des attaques chimiques successives (Van-Soest, 1963) sur des échantillons moyens établis sur les différents traitements et broyés très finement (Vanlauwe et al., 1997). Les composés phénoliques totaux sur les feuilles des jachères ont été extraits avec du méthanol (King et Heath, 1967) et dosés par la méthode Folin-Ciocalteu (Marigo, 1973).

Prélèvements et analyse de sol

En novembre 1997 deux prélèvements chacun d'un volume d'environ 6 l par parcelle élémentaire ont été réalisés sur neuf parcelles des trois premiers blocs sur 0-10 cm. Trois parcelles correspondent aux trois traitements à 6 mois de jachère. Les six parcelles des traitements à 18 mois de jachère comprennent trois mises en culture dans l'année et trois en jachère. Dans une jachère de type forestière d'environ un hectare située à 300 m environ du dispositif expérimental trois blocs de taille identique aux précédents ont été identifiés et ont subi le même protocole de prélèvement. Des profils effectués sur 1 m ne montraient aucune différenciation pédologique notable par rapport aux profils effectués sur le dispositif. Les analyses granulométriques effectuées sur 0-10 cm n'ont montré aucune différenciation significative entre les prélèvements effectués sur forêt et ceux du dispositif.

En mars 1999 trois prélèvements chacun d'un volume d'environ 3 l par parcelle élémentaire ont été réalisés sur six parcelles des trois premiers blocs sur 0-5 et 5-10 cm. Trois parcelles correspondent aux trois traitements à 6 mois de jachère et trois parcelles aux traitements à jachère de 18 mois devant être cultivés dans l'année. Le volume de sol prélevé a été mesuré par une adaptation de la méthode du sable (Mathieu et Pieltain, 1998). Le poids de terre fine total (< 2 mm) a été estimé en additionnant au refus à 2 mm la terre associée aux éléments grossiers ($EG > 2$ mm) obtenue par pesée avant et après lavage des EG à l'eau.

Les teneurs en C et N totales des échantillons de 1997 et 1999 ont été déterminées sur du sol broyé et trois prises d'échantillons de 40 mg environ avec un analyseur CHN Thermoquest® NA 1500 N. Une analyse granulométrique a été faite sur les échantillons prélevés en mars 1999 sur 0-5 et 5-10 cm en réunissant les 3 échantillons élémentaires obtenus pour chaque traitement sur chaque bloc. Les résultats sont exprimés en regroupant les fractions 0-2 et 2-20 μm et les fractions 20-50, 50-200, 200-2000 μm .

Incubation de courte durée

L'humidité d'incubation retenue correspond à 80% de la capacité au champ ($pF = 2.5$) soit un pF de 2.75. Elle a été déterminée pour chaque échantillon au laboratoire par centrifugation. Vingt g de terre fine (< 2 mm) de chaque prélèvement élémentaire (deux par bloc, six par traitement) sont placés dans des flacons en verre de 130 ml et amenés à l'humidité d'incubation. Les flacons sont fermés hermétiquement et placés 2 h au réfrigérateur afin que l'eau diffuse dans tout l'échantillon. Après équilibration des gaz inertes (ouverture rapide du flacon), ils sont incubés pendant 24 h à 28°C à l'obscurité.

La teneur en CO_2 dans la chambre d'incubation est dosée grâce à un chromatographe en phase gazeuse (Chrompack CP-2002P Micro GC) équipé de détecteurs à conductibilité thermique (nanocatharomètre). 250 μl de gaz sont prélevés du flacon et injectés dans le chromatographe. Ces constituants poussés par un gaz vecteur (hélium) vont cheminer à des vitesses différentes le long de deux colonnes : la colonne A sépare O_2 , Ar et N_2 ; la colonne B sépare l'air total, CO_2 et H_2O . Ces composés sont détectés et quantifiés par le nanocatharomètre qui fournit un signal sous forme de chromatogramme. Les résultats sont exprimés en ppm. Les flux de gaz sont déterminés par la différence entre deux teneurs de C- CO_2 après 24 heures d'incubation.

Les résultats sont exprimés en $\text{mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ C total}$. Après la mesure du dégagement de CO_2 , l'azote minéral est ensuite extrait par ajout de 45 ml d'une solution de chlorure de potassium ($\text{KCl } 2M$). Cette suspension est ensuite agitée, centrifugée et filtrée. Des échantillons témoins non incubés subissent le même traitement.

Les quantités d'ammonium (NH_4^+) et nitrate-nitrite ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) sont dosées par spectrophotométrie (appareil San Plus System, Skalar Analytical). Ces mesures ont été effectuées trois fois sur le sol incubé et deux fois sur le témoin. Les quantités minéralisées sont obtenues en soustrayant les quantités moyennes mesurées dans les échantillons non incubés aux quantités accumulées dans les sols incubés. Les résultats sont exprimés en $\text{mg N g}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ N total}$.

Incubation de longue durée

Six échantillons de sol sur 0-10 cm ont été effectués en regroupant pour chacun des six traitements les 18 échantillons élémentaires (trois blocs, trois répétitions par bloc, deux profondeurs), en respectant les proportions de terre fine obtenues sur chaque prélèvement.

L'humidité d'incubation a été fixée à 75% de la capacité au champ moyenne estimée à 34%, soit à 25% de poids d'eau par poids de sol sec. La température d'incubation est fixée à 28°C.

Pour le suivi de minéralisation des MOS quatre échantillons de 50 g de terre fine ($< 2 \text{ mm}$) par traitement sont préalablement humidifiés avec 6 ml d'eau et placés dans des coupelles cylindriques de 44 mm de diamètre et de 40 mm de hauteur. Le sol est ensuite tassé jusqu'à atteindre une densité apparente de l'ordre de 1.40 et 6.5 ml d'eau sont rajoutés. Les coupelles sont placées dans un bac contenant de l'eau distillée et surmonté d'un film plastique perméable aux gaz mais qui limite l'évaporation. L'humidité est maintenue constante en réajustant régulièrement le poids des coupelles par un ajout d'eau distillée. Les mesures de vitesse de minéralisation ont été effectuées 15 fois sur une période totale de 106 jours, avec un pas de temps court au début (7 mesures à 3 à 4 jours d'intervalle), plus important au milieu et en fin d'incubation (5 mesures à 1 semaine, 3 mesures à 2 semaines d'intervalle environ). Pour chaque mesure la coupelle est placée dans une enceinte fermée dont la teneur en CO_2 est déterminée par chromatographie en phase gazeuse (CPG Agilent G2890A, colonne poraplot Q de 8m et gaz vecteur Hélium muni d'un détecteur à catharomètre) en début et fin de période de confinement (24 à 72 heures selon la vitesse de minéralisation espérée). Les résultats sont exprimés en $\text{mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$ de C initial du sol par jour en tenant compte des corrections relatives à la pression atmosphérique et à la température dans l'enceinte de mesure.

Pour le suivi de la minéralisation nette de l'azote du sol les conditions de réalisation de l'incubation sont identiques aux précédentes. Le poids de terre par coupelle est de 40 g. Le nombre de répétitions est limité à trois par traitement. Huit prélèvements destructifs ont été effectués au temps 0 puis 10, 20, 30, 40, 58, 73 et 85 jours après le début de l'incubation. Pour chaque mesure, trois coupelles de chaque traitement élémentaire sont soumises à une extraction de l'azote minéral avec une solution de $\text{KCl } 1M$. L'azote ammoniacal et nitrique mis en solution sont ensuite déterminés par colorimétrie automatique utilisant la réaction de Berthelot

pour NH_4^+ (Fallavier et Egoumenides, 1975) et le dosage des nitrites par le réactif de Griess après réduction des nitrates sur une colonne de cadmium pour NO_3^- . La dynamique de la minéralisation-nette de l'azote est exprimée en mg N g^{-1} de N initial du sol.

Traitements des données

Les données des parcelles élémentaires ont été soumises à une analyse de variance à un seul facteur avec trois ou quatre répétitions (blocs). Les moyennes des traitements sont comparées au moyen de la valeur de la plus petite différence significative (PPDS) au seuil de signification de $P = 0.05$.

Les vitesses de minéralisation des MOS (C-CO_2) ont été transformées en quantités cumulées au cours du temps. La modélisation de la proportion de carbone minéralisé au temps t ($C_{\min t}$) a été réalisée en ajustant aux 16 points expérimentaux une équation à double cinétique de premier ordre :

$$C_{\min t} = Q_a (1 - e^{-k_a t}) + Q_b (1 - e^{-k_b t}) \quad (1)$$

Q_a représente une proportion de C « très facilement minéralisable », Q_b une proportion « facilement minéralisable », k_a la constante de décomposition associée à Q_a , k_b la constante de décomposition associée à Q_b .

La modélisation de la minéralisation nette a été faite sur 8 points expérimentaux avec une équation à simple cinétique de premier ordre suivante (Stanford et Smith, 1972) :

$$N_{\min t} = N_0 + N_{\min \max} (1 - e^{-k t}) \quad (2)$$

$N_{\min t}$ représente la proportion de N obtenue au temps t (bilan minéralisation brute et immobilisation), N_0 , la proportion de N minéral au temps $t = 0$, $N_{\min \max}$ la proportion maximale de N « facilement minéralisable », k la constante de minéralisation de $N_{\min \max}$.

Les ajustements non linéaires nécessaires à la détermination des différents paramètres des équations (1) et (2) ont été réalisés avec le logiciel XLSTAT (2001). La comparaison statistique des courbes 2 à 2 a été réalisée en comparant par un test F le modèle obtenu par la réunion des points des 2 courbes aux modèles obtenus sur chacune des 2 courbes (Tomassone et al., 1992).

RESULTATS

Apports organiques cumulés en C et N

En novembre 1997 et mars 1999 les quantités C cumulées des apports organiques sont identiques pour Cho 6M et Pue 6M et supérieures à Tem 6M. Les quantités N cumulées des apports organiques pour les SC6MJ sont nettement supérieures pour Pue 6M par rapport à Tem 6M et Cho 6M (Tableaux 1 et 2).

En faisant l'hypothèse que les apports de litières sont nuls pour Tem 18 C et J (brûlis de celles ci) les quantités C cumulées en novembre 1997 et mars 1999 sont plus importantes pour Cho 18M C et J. Les quantités de N cumulées sont plus importantes pour Pue 18 J et C (Tableaux 1 et 2).

Le principal facteur de différenciation entre les SC6MJ et les SC18MJ réside sur un rapport « durée de culture / durée de jachère » respectivement de 1.2 à 0.2 en 1997, 1 à 0.14 en 1999. La proportion en C et N d'origine de la litière des jachères est importante pour les SC18MJ. Pour les SC6MJ une part importante des apports organiques est d'origine des pailles du maïs (Tableaux 1 et 2).

Tableau 1. Nature des apports organiques, durées des périodes de culture et de jachère, estimation des quantités C et N cumulées des apports avec proportion d'origine des jachères (litière globale après la coupe et feuilles des jachères) entre mars 1995 et novembre 1997.

Traitement	Nature des apports ^a			Culture (mois)	Jachère (mois)	C (t ha ⁻¹)	N		
	1995	1996	1997				litières ^c (%)	(kg ha ⁻¹)	litières ^c (%)
Tem 6M	M	L + M	L + M	18	15	8.7b	45.3	228a	62.1
Cho 6M	M	L + M	L + M	18	15	15.7d	67.0	326b	73.2
Pue 6M	M	L + M	L + M	18	15	15.8d	66.1	597e	79.9
Tem 18M C ^b	F	F	L + M	6	27	4.9a	55.4	253ab	86.0
Cho 18M C	F	F	L + M	6	27	13.9c	85.5	390cd	91.7
Pue 18 M C	F	F	L + M	6	27	11.2bc	80.9	672ef	94.8
Tem 18 M J ^b	F	L + M	F	6	27	4.9a	56.1	25'ab	86.3
Cho 18 M J	F	L + M	F	6	27	16.6cd	87.3	435d	92.3
Pue 18M J	F	L + M	F	6	27	11.6bc	80.8	694f	94.7

^a : M = pailles de maïs ; L = litières globales après la coupe (tiges + feuilles) ; F = feuilles de jachère.

^b : traitement avec brûlis ; apports des litières (L) estimés à 0.

^c : rapport (L+F) / (M+L+F) * 100.

Deux valeurs affectées de la même lettre ne diffèrent pas statistiquement (P=0.05), n=4.

Tableau 2. Nature des apports organiques, durées des périodes de culture et de jachère, estimation des quantités C et N cumulées des apports avec proportion d'origine des jachères (litière globale après la coupe et feuilles des jachères) entre mars 1995 et mars 1999.

Traitement	Nature des apports ^a				Culture (mois)	Jachère (mois)	C		N	
	1995	1996	1997	1998			(t ha ⁻¹)	litières ^c (%)	(kg ha ⁻¹)	litières ^c (%)
Tem 6M	M	L + M	L + M	L + M	24	24	11.5b	39.8	281a	57.4
Cho 6M	M	L + M	L + M	L + M	24	24	20.1c	62.5	448b	70.3
Pue 6M	M	L + M	L + M	L + M	24	24	20.0c	60.0	717c	75.5
Tem 18 M J ^b	F	F	L + M	F	6	42	7.6a	35.4	306a	71.4
Cho 18 M J	F	F	L + M	F	6	42	28.6d	82.7	687c	85.0
Pue 18M J	F	F	L + M	F	6	42	21.2c	76.5	1074d	89.5

^a : M = pailles de maïs ; L = litières globales après la coupe (tiges + feuilles) ; F = feuilles de jachère.

^b : traitement avec brûlis ; apports des litières (L) estimés à 0.

^c : rapport (L+F) / (M+L+F) * 100

Deux valeurs affectées de la même lettre ne diffèrent pas statistiquement (P=0.05), n=4.

Qualité des résidus apportés

Les pailles de maïs sont caractérisées par une teneur faible en N et en lignine (Tableau 3). Les feuilles vertes de *Chromolaena* sont riches en N, pauvres en fibres et riches en polyphénols totaux. Les teneurs en N des feuilles au début de leur décomposition (< 5 mm) restent élevées (19 g kg⁻¹) et conservent la moitié de leur teneur initiale. Les feuilles vertes de *Pueraria* sont riches en N et nettement plus riches que celles de *Chromolaena* en hémicellulose et cellulose. Comparativement aux feuilles de *Chromolaena* les feuilles au début de leur décomposition perdent rapidement leur N puisque les feuilles fractionnées (< 5 mm) atteignent 12 g kg⁻¹ soit 3.5 fois moins que leur teneur initiale. Les feuilles et les tiges de *Chromolaena* sont très différenciées biochimiquement. Les tiges sont relativement pauvres en N et les grosses tiges (> 8 mm) sont riches en lignine. Les tiges de *Pueraria* ont des teneurs en N relativement élevées et des teneurs en lignine comparables aux tiges de petit diamètre (< 8 mm) de *Chromolaena*. Les litières de *Chromolaena* ont une proportion plus élevée de tiges que de feuilles. Leur composition globale aura un rapport « lignine / N » plus élevé que pour le *Pueraria* et les pailles de maïs (Tableau 3).

Tableau 3. Teneurs en N total, fibres (Van-Soest, 1963), polyphénols totaux (King et Heath, 1967) et rapport lignine / N des apports organiques des parties aériennes pour maïs, *Chromolaena* et *Pueraria*.

Espèce	Période ^a	Organe ^b	N (g kg ⁻¹)	Hémicellulose (g kg ⁻¹)	Cellulose (g kg ⁻¹)	Lignine (g kg ⁻¹)	Polyphénols (g kg ⁻¹)	Lignine / N
Maïs	Récolte	Pailles	9.6	200.5	288.4	72.3	ND	7.5
<i>Chromolaena</i>	Jachère	Feuilles vertes	36.5	91.1	109.2	97.1	34.0	2.6
<i>Pueraria</i>	Jachère	Feuilles vertes	43.2	154.2	269.5	95.3	17.0	2.2
<i>Chromolaena</i>	Litière	Feuilles > 5mm	25.2	75.6	110.3	135.3	ND	5.3
<i>Chromolaena</i>	Litière	Feuilles <5 mm	19.0	69.1	56.3	64.5	ND	3.3
<i>Chromolaena</i>	Litière	Tiges > 8 mm ^c	8.1	133.2	271.4	262.3	ND	32.3
<i>Chromolaena</i>	Litière	Tiges < 8 mm ^c	11.6	139.4	338.6	159.4	ND	13.6
<i>Pueraria</i>	Litière	Feuilles > 5 mm	23.7	96.2	206.2	123.4	ND	5.1
<i>Pueraria</i>	Litière	Feuilles <5 mm	12.0	109.3	174.4	137.3	ND	11.4
<i>Pueraria</i>	Litière	Tiges ^d	18.0	145.3	359.4	155.5	ND	8.6

^a : dates prélèvements : jachère, 15/5/97 ; litière, après la coupe de la jachère, 27/3/98 ; récolte du maïs, 31/7/98.

^b : échantillons moyens constitués à partir des différents blocs et traitements sur SC6MJ et SC18MJ.

^c : tiges > 8 mm, 10 à 24%, et tiges < 8 mm, 47 à 60%, de la litière totale.

^d : tiges 47 à 60% de la litière totale.

ND : non déterminé.

Incubation de courte durée

Les mesures de dégagement de C-CO₂ par rapport au C total du sol montrent que l'activité biologique du sol prélevé sur forêt est nettement supérieure à l'ensemble des traitements du dispositif (Figure 1-A). Les sols prélevés sur les SC6MJ ont une activité biologique au moins égale à ceux des SC18MJ voir légèrement supérieures (différence significative avec Tem 18M C). Pour les SC18MJ l'activité biologique des parcelles en jachère semble (non significatif) améliorée par rapport aux parcelles cultivées dans l'année (Figure 1-A). La minéralisation de N par rapport au N total du sol est comparativement plus importante que pour C, au moins deux fois plus élevée pour tous les traitements (Figure 1-B). Le sol prélevé sur forêt présente une minéralisation nette significativement plus élevée que celle des sols prélevés sur les parcelles cultivées. Bien que pour chaque traitement les valeurs de N tendent à suivre les variations obtenues sur C (plus faibles minéralisations C et N avec Tem 18M C), les différences entre traitements ne sont pas significatives en raison de différences entre traitements moins importantes et d'une plus grande variabilité dans les mesures.

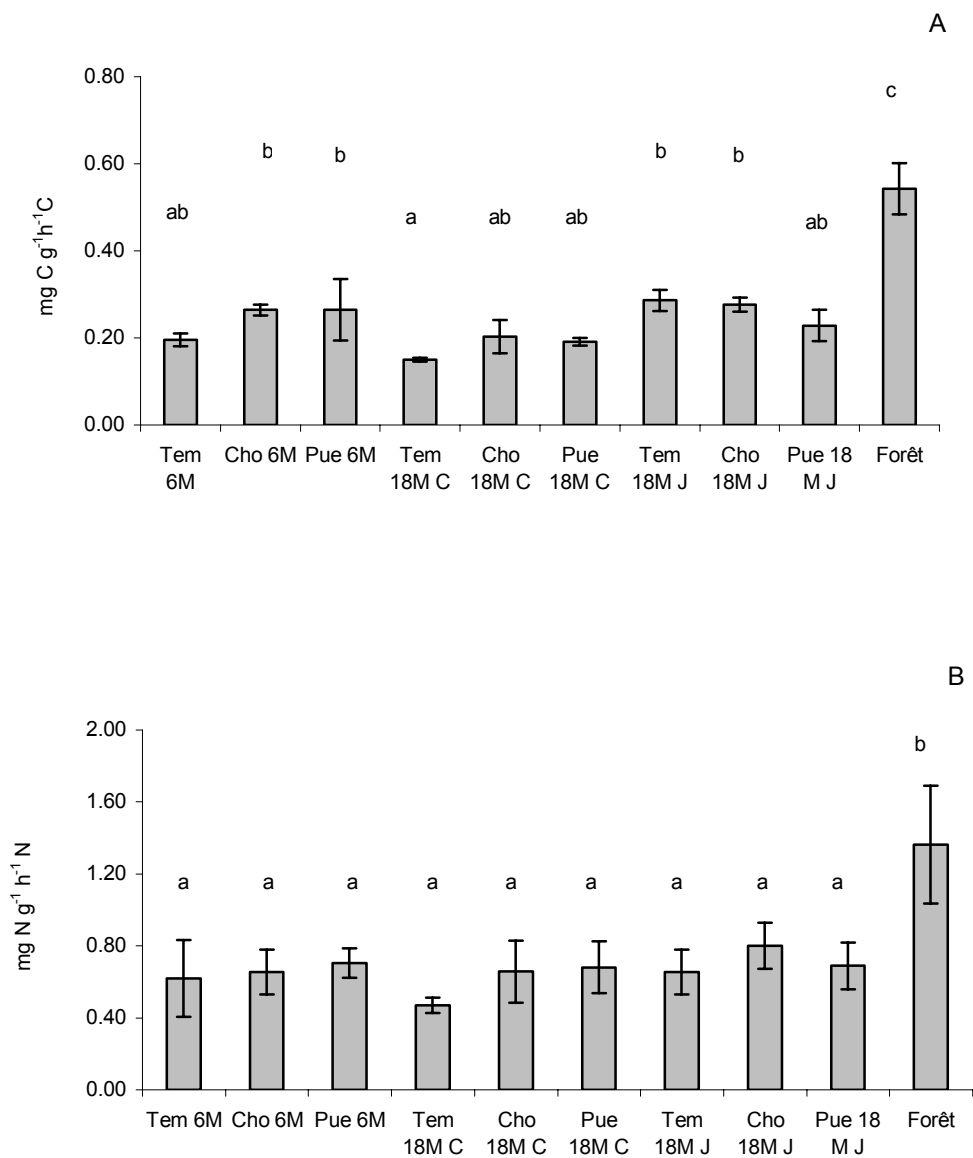


Figure 1. Quantités moyennes de C-CO₂ respiré (A) et N-NH₄⁺+NO₃⁻+NO₂⁻ minéralisé (B) par heure et par g C ou N total de sol sur 0-10 cm ; incubations de 24 h à 28°C sur des prélèvements de novembre 1997 (avec erreur-types, n=3).

Deux valeurs affectées de la même lettre ne diffèrent pas statistiquement ($P = 0.05$).

Tem 6M, Cho 6M, Pue 6M, Tem 18M C, Cho 18M C, Pue 18M C: cultivés entre mars et juillet 1997.

Tem 18M J, Cho 18M J, Pue 18M J : en jachère en 1997.

Forêt : jachère d'environ 20 ans proche du dispositif expérimental.

Granulométrie et stocks en C et N

Les fractions granulométriques 0-20 μm et 20-2000 μm après quatre années d'expérimentation ne sont pas significativement différentes entre les traitements sur 0-5 cm. Les fractions fines tendent à être plus élevées sur les SC18MC (Tableau 4). Sur 5-10 cm les valeurs obtenues pour les deux classes de granulométrie sont significativement différentes pour Tem 6M par rapport aux autres traitements.

Tableau 4. Argiles et limons fins (0-20 μm), limons grossiers, sables fins et sables grossiers (20-2000 μm) en % pondéral de la fraction fine (< 2 mm) du sol sur 0-5 cm et 5-10 cm; échantillons ayant servi aux évaluations de stocks totaux C et N et aux incubations de sol prélevé en mars 1999.

Traitement	0-5 cm		5-10 cm	
	0-20 μm (%)	20-2000 μm (%)	0-20 μm (%)	20-2000 μm (%)
Tem 6M	56.9 (1.89)	43.2 (1.91)	35.7a (7.78)	64.3b (7.81)
Cho 6M	59.0 (3.45)	41.0 (3.43)	57.5b (3.67)	42.5a (3.66)
Pue 6M	57.4 (4.10)	42.6 (4.11)	56.6b (4.15)	43.4a (4.18)
Tem 18M J	63.3 (3.98)	36.7 (3.96)	56.70b (1.82)	43.3a (1.79)
Cho 18 M J	63.2 (2.13)	36.8 (2.14)	60.7b (2.64)	39.3a (2.66)
Pue 18 M J	62.8 (4.11)	37.2 (4.11)	53.5b (7.96)	46.5a (7.96)

Pour chaque colonne les valeurs suivies d'un même lettre ne sont pas statistiquement différentes ($P=0.05$).

Erreur-types entre parenthèses, $n = 3$.

Après 4 années d'expérimentation, les différenciations obtenues sur les stocks C sur 0-10 cm (Figure 2) ne sont pas significatives et présentent une forte variabilité notamment pour les SC18MJ. Les stocks sont plus élevés pour les trois traitements à jachère de 18 mois.

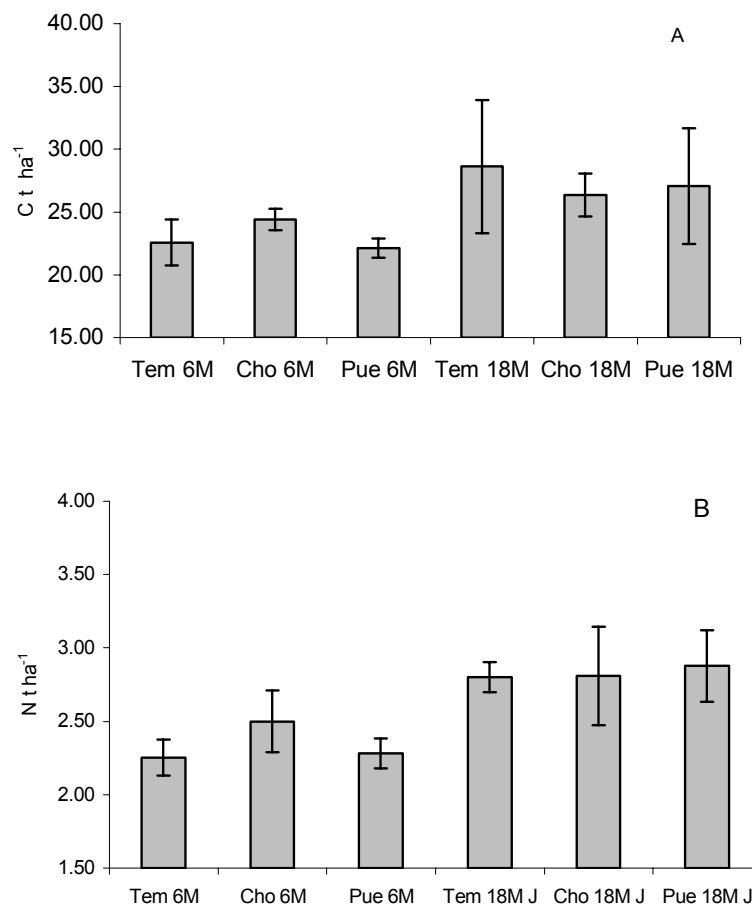


Figure 2. Stocks totaux C (A) et N (B) du sol sur 0-10 cm pour les différents traitements en mars 1999 (avec erreur-types, $n = 3$). C / N respectivement de : 10.0, 9.7, 9.7, 10.0, 9.4, 9.4.

Cinétique de minéralisation de C

Les proportions cumulées de C respiré sur 106 j montrent que les points expérimentaux obtenus avec Pue 6M sont au dessus de ceux obtenus avec Tem 6M et Cho 6M. Les points expérimentaux obtenus avec Tem 6M et Cho 6M sont confondus (Figure 3-A). La modélisation sur ces points nous indique que cette différence est essentiellement liée à une proportion de C « très facilement minéralisable » (Q_a) plus importante avec Pue 6M (Tableau 5). La courbe Pue 6M est significativement différente de celles de Tem 6M et Cho 6M (Tableau 6).

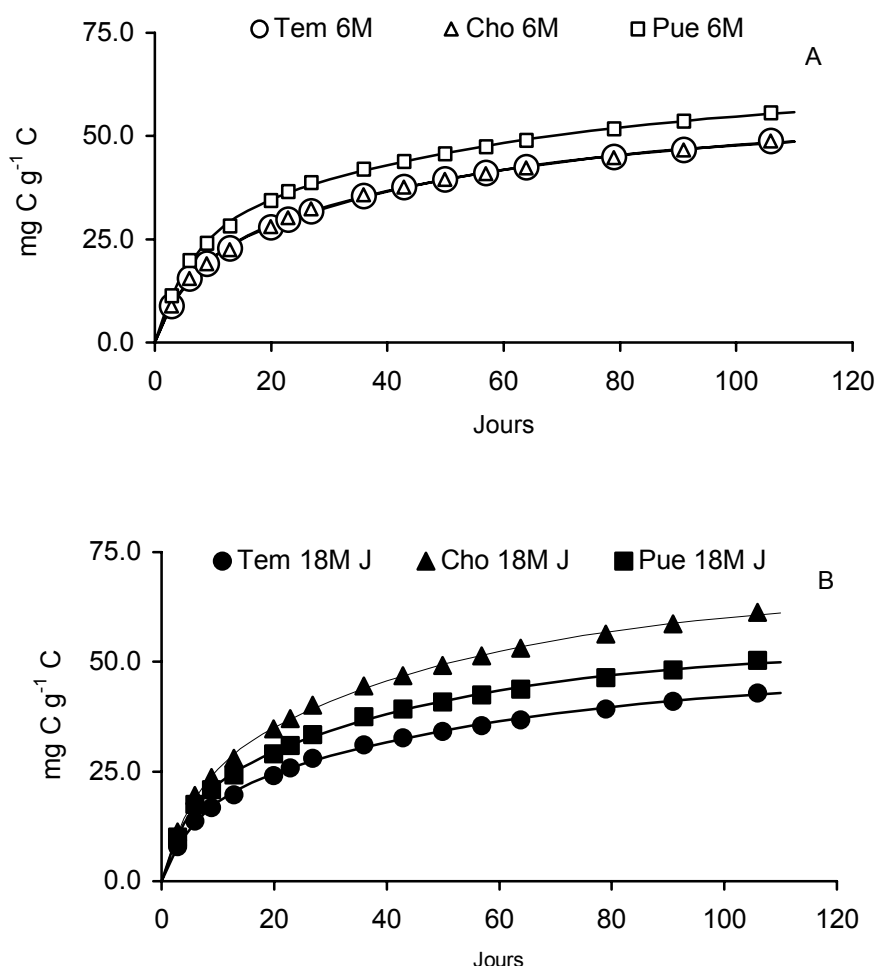


Figure 3. Quantités cumulées de C respiré (CO₂) par gr C de sol sur 0-10 cm pendant une incubation de 106 jours pour les six traitements en mars 1999. Les symboles indiquent les points expérimentaux. Les courbes reportent les modèles obtenus (Tableau 5) par ajustement aux points expérimentaux.

Tableau 5. Paramètres des modèles à double exponentielle (Figure 3) utilisés sur les quantités cumulées de C-CO₂ respiré ($C_{min\ t}$) par g C de sol sur 0-10 cm pendant des incubations de 106 jours pour les six traitements en mars 1999.

Traitements	Q_a (mg C g ⁻¹ C)	k_a (j ⁻¹)	Q_b (mg C g ⁻¹ C)	k_b (j ⁻¹)	r^2
Tem 6M	16.81	0.181	35.91	0.0199	0.99
Cho 6M	18.00	0.163	34.86	0.0192	0.99
Pue 6M	25.22	0.163	36.21	0.0169	0.99
Tem 18M J	15.37	0.178	32.03	0.0178	0.99
Cho 18M J	20.38	0.187	45.73	0.0201	0.99
Pue 18 M J	16.45	0.235	36.68	0.0222	0.99

$$C_{min\ t} = Q_a (1 - e^{-k_a t}) + Q_b (1 - e^{-k_b t})$$

Q_a = proportion de C très facilement minéralisable

Q_b = proportion de C facilement minéralisable

k_a = constante de décomposition Q_a

k_b = constante de décomposition Q_b

Les points expérimentaux avec Cho 18 M J sont au-dessus de ceux à Pue 18 M J, eux-mêmes au-dessus de ceux à Tem 18 M J. La modélisation obtenue sur les points expérimentaux nous indique que les deux proportions de C « très facilement minéralisable » et « facilement minéralisable » (respectivement Q_a et Q_b) et leurs constantes de décomposition sont à l'origine de ces différences. Les trois courbes sont significativement différentes (Tableau 6).

Tem 18 M J présente une courbe significativement différente de celles obtenues avec les trois traitements avec les SC6MJ. Les proportions de C « très facilement minéralisable » et « facilement minéralisable » sont inférieures. Cho 18 M J présente des proportions de C « très facilement minéralisable » et « facilement minéralisable » supérieures à celles de Cho 6M. Les deux courbes sont significativement différentes. La courbe obtenue avec Pue 18 M J est en dessous de celle obtenue avec Pue 6M en raison d'une proportion de C « très facilement minéralisable » plus importante avec Pue 6M. Ces deux courbes sont significativement différentes (Tableau 6).

Tableau 6. Niveau de signification des comparaisons 2 à 2 des modèles obtenus sur les ajustements aux points expérimentaux des proportions de C-CO₂ par g C de sol à 0-10 cm pendant 106 jours d'incubation de sol pour les six traitements en mars 1999.

	Tem 6M	Cho 6M	Pue 6M	Tem 18M J	Cho 18M J	Pue 18M J
Tem 6M	-	NS	***	***	***	***
Cho 6M	-	-	***	***	***	***
Pue 6M	-	-	-	***	***	***
Tem 18M J	-	-	-	-	***	***
Cho 18M J	-	-	-	-	-	***
Pue 18 M J	-	-	-	-	-	-

NS : non significatif ; * significatif à $P = 0.05$, ** significatif à 0.01 , *** significatif à $P = 0.001$.

Cinétique de minéralisation nette N

Les points expérimentaux obtenus sur les proportions de N minéralisé montrent pour les SC6MJ (Figure 4-A) que ceux de Pue 6M sont nettement au-dessus de ceux à Tem 6M et Cho 6M. Ceux de Cho 6M sont au-dessus de ceux à Tem 6M. Les modélisations sur ces courbes indiquent que ces différences sont liées aux valeurs plus élevées de la proportion de N minéralisable à court terme (N_0 et $N_{\min\max}$) et du coefficient de minéralisation de $N_{\min\max}$ (Tableau 7). Les valeurs sont plus importantes par ordre décroissant avec Pue 6M, Cho 6M et Tem 6M. Les trois courbes sont significativement différentes entre elles (Tableau 8).

Les points expérimentaux obtenus avec les trois SC18MJ (Figure 4-B) sont relativement proches. Ceux de Pue 18 M J sont légèrement au-dessus de ceux à Cho 18M J eux mêmes au-dessus de Tem 18 M J. Les modélisations sur ces courbes nous indiquent que ces différences sont liées aux valeurs sensiblement

différentes selon les traitements de la proportion de N minéralisable à court terme (N_0 et N_{minmax}) et du coefficient de minéralisation de N_{minmax} (Tableau 7). Les valeurs sont plus importantes par ordre décroissant avec Pue 18 M J, Cho 18 M J et Tem 18M J. La courbe de Tem 18 M J est significativement différente de la courbe Pue 18M J. Les courbes Tem 18 M J et Cho 18 M J ne sont pas significativement différentes (Tableau 8).

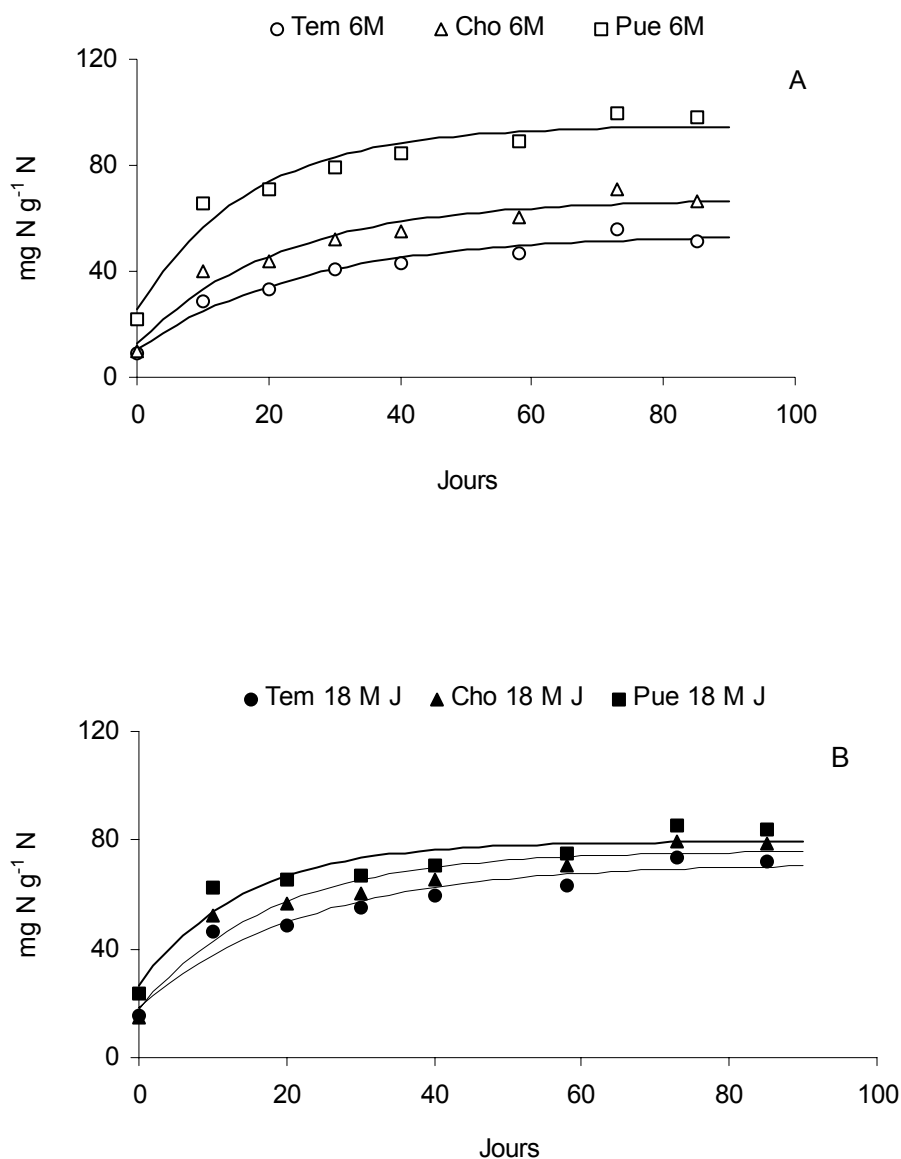


Figure 4. Quantités cumulées de N minéralisé (minéralisation-nette $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) par gr N de sol sur 0-10 cm pendant des incubations de 85 jours pour les six traitements en mars 1999. Les symboles indiquent les points expérimentaux. Les courbes reportent les modèles obtenus sur les points expérimentaux (Tableau 7).

Tableau 7. Paramètres des modèles à cinétique de premier ordre (Figure 4) utilisés sur les quantités minéralisées (minéralisation-nette $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) exprimées en $\text{mg N g}^{-1} \text{N}$ de sol sur 0-10 cm pendant des incubations de 85 jours pour les six traitements en mars 1999.

Traitements	N_0 ($\text{mg N g}^{-1} \text{N}$)	N_{minmax} ($\text{mg N g}^{-1} \text{N}$)	$N_0 + N_{\text{minmax}}$ ($\text{mg N g}^{-1} \text{N}$)	k (j^{-1})	t_{50} (j)	r^2
Tem 6M	10.6	43.4	54.0	0.0395	17.5	0.96
Cho 6M	12.8	54.5	67.3	0.0461	15.0	0.95
Pue 6M	25.4	69.5	94.9	0.0591	11.7	0.95
Tem 18M J	18.7	52.8	71.5	0.0444	15.6	0.94
Cho 18M J	17.9	58.1	76.0	0.0568	12.2	0.94
Pue 18 M J	26.4	52.9	79.3	0.0735	9.4	0.91

$$N_{\text{min t}} = N_0 + N_{\text{minmax}} (1 - e^{-k t}).$$

N_0 = quantité N au début de l'incubation.

N_{minmax} = quantité maximale de N minéralisable.

k = constante de décomposition de N_{minmax} .

t_{50} = demie-vie de N_{minmax} .

Tableau 8. Niveau de signification des comparaisons 2 à 2 des modèles obtenus sur les ajustements aux points expérimentaux des proportions de N minéralisé par g N de sol à 0-10 cm pendant 106 jours d'incubation de sol pour les six traitements en mars 1999.

	Tem 6M	Cho 6M	Pue 6M	Tem 18M J	Cho 18M J	Pue 18M J
Tem 6M	-	NS	***	***	***	***
Cho 6M	-	-	***	NS	**	***
Pue 6M	-	-	-	***	***	*
Tem 18M J	-	-	-	-	NS	*
Cho 18M J	-	-	-	-	-	NS
Pue 18 M J	-	-	-	-	-	-

NS : non significatif ; * significatif à $P = 0.05$, ** significatif à 0.01 , *** significatif à $P = 0.001$.

Discussion

Systèmes de culture et stocks C et N sur 0-10 cm

Les variations sur les stocks de C et N du sol en surface dans des systèmes de culture à travail minimal du sol sous l'effet d'apports organiques différenciés peuvent mettre une dizaine d'années avant d'être significatives (Triomphe, 1996 ; Calegari et Alexander, 1998). Il est reconnu que les sols non labourés ont une minéralisation ralentie par rapport aux sols régulièrement retournés par effet de déprotection physique des MOS (Balesdent et al., 2000). Concernant notre expérimentation nous ne pouvons conclure pour une durée de jachère donnée sur « l'effet espèce ». Salako et Tian (2001) indiquent des effets sur les stocks organiques similaires comparables entre les deux espèces après six années de jachère. Les mesures sur les stocks effectuées après quatre années d'expérimentation présentent une forte variabilité (Figure 2) liée à l'hétérogénéité de départ d'une jachère de milieu forestier (Sébillotte, 1993) accrue par la variabilité des teneurs en éléments grossiers (Lévêque, 1988).

Nous constatons une différenciation sur les stocks liée au rapport « durée de culture / durée de jachère » qui au terme de l'expérimentation est de 1 pour les SC6MJ et de 0.14 pour les SC18MJ. En supposant que les stocks aient peu évolué avec le traitement Cho 18M J (6 mois de culture et 42 mois de jachère), Tem 6M, Cho 6M, Pue 6M présentent par rapport à ce premier traitement des différences respectives de 3.8, 2.0, 4.3 t ha⁻¹ de C soit -11, -7.5, 16.1% de perte de C en 4 années, et 550, 300, 520 kg ha⁻¹ de N, soit -19.5, -10.7, -18.5% de perte en N les 4 années. Ces estimations confirment les taux de minéralisation moyens relevés pour des systèmes de cultures annuelles sans travail du sol, compris entre 4 à 5% (Greenland, 1980; Tian et al., 1999).

Dans notre cas il semble que la différence obtenue entre Cho 6M et Tem 6M soit liée aux cumuls des apports organiques, plus importants pour Cho 6M (Tableau 2). Les apports organiques cumulés en N pour Pue 6M sont bien plus importants que pour Cho 6M respectivement 717 kg ha⁻¹ et 448 kg ha⁻¹ alors que les variations sur les stocks sont peu différentes. Cela pourrait être lié à un potentiel de minéralisation plus élevé des apports de litières de *Pueraria* et/ou à un moindre recyclage de N de la légumineuse par rapport à *Chromolaena*. Ces données confirmeraient les études qui montrent qu'à biomasses comparables une légumineuse est moins efficiente au stockage à long terme par rapport à une « non-légumineuse » (Myers et al., 1994 ; Dinesh et al., 2001).

Hypothèses sur les facteurs de minéralisation des sols à court terme

Les résultats obtenus sur les incubations de courte durée deux années et demi après le début de l'expérimentation permettent d'établir un diagnostic sur une disponibilité à court terme en matériaux facilement minéralisables. La disponibilité en C et N à court terme peut provenir de sucres issus d'apports organiques récents ou de cellules microbiennes mortes lors du séchage de sol (Paul et Clark, 1989; Nacro et al., 1996 ; Haynes, 2000). Tous nos agrosystèmes présentent une activité biologique à court terme nettement inférieure à celle d'une forêt (Figure 1). En fin de saison des pluies il semble que la disponibilité en C facilement assimilable soit réduite après une période de culture mais aussi également en période de jachère. Dans nos conditions agrobioclimatiques les apports organiques semblent être donc rapidement minéralisés et la disponibilité en C soluble limitée dans le temps. Sous forêt la présence d'apports plus étalés par les chutes de feuilles pourrait permettre une disponibilité en C soluble plus continue offrant à l'écosystème une disponibilité immédiate en N (Paul et Clark, 1989).

La plus forte minéralisation en C obtenue avec Cho 18 M J par rapport à Pue 18 MJ (Figure 3) pourrait être liée à une accumulation, avant le début de la saison des pluies, d'une plus grande quantité de C soluble. Les faibles teneurs en fibres des feuilles de *Chromolaena* par rapport aux feuilles de *Pueraria* suggèrent qu'elles contiendraient une proportion de C soluble (Tableau 3).

Hypothèses sur les facteurs de minéralisation des sols à l'échelle de la campagne

Nos résultats obtenus sur les cinétiques de CO₂ (Figure 3) montrent une relation avec la biochimie des apports pour les SC6MJ. Les apports se différencient essentiellement par leurs litières d'origine des jachères et il semble qu'une meilleure qualité des litières de *Pueraria*, rapports « lignine / N » de ces composants plus faibles que ceux de *Chromolaena*, permette une meilleure assimilation par les microorganismes. A cette plus forte activité (CO₂) est associée une minéralisation-nette plus élevée (Figures 3 et 4).

La figure 1 nous montre un effet négatif du brûlis sur la minéralisation à court terme du sol huit mois après (Tem 18M C). Sur les figures 3 et 4 les plus faibles minéralisations nettes sont obtenues sur le traitement ayant subi un brûlis 2 années auparavant (Tem 18 M J). Il existe une « mémoire » du sol suite à une gestion différente des apports organiques. Le brûlis provoque une baisse durable de la qualité des MOS. De nombreuses études signalent sous brûlis une augmentation à court terme des teneurs en C et N total liée à l'incorporation au sol en surface de charbons (Noordwijk et al., 1997 ; Tian et al., 1999 ; Salako et Tian, 2001). Ces charbons pourraient représenter ainsi une part du C organique analysé, résistant à la décomposition et inactifs sur l'offre en N (Noordwijk et al., 1997 ; Lavelle et Spain, 2002).

Systèmes de culture et compartiment du sol à taux de renouvellement élevé

Les données du Tableau 9 synthétisent les résultats obtenus sur les stocks et les incubations de longue durée. Le « compartiment à taux de renouvellement élevé des MOS » ainsi estimé représenterait entre 4.74 et 6.61% du stock total pour C et 5.39 à 9.42% du stock total pour N. Bien que les vitesses de minéralisation obtenues en incubation sont généralement supérieures à celles obtenues *in situ*, les estimations de la minéralisation nette du sol à l'aide d'incubation longues permettent généralement d'estimer les minéralisations nettes obtenues au champ (Nicolardot et al., 1996).

Tableau 9. Caractérisation du compartiment du sol (0-10 cm) à taux de renouvellement élevé pour les six traitements en mars 1999 estimée avec les données de modélisations des cinétiques de C-CO₂ (110 jours) et de N-NH₄⁺+NO₃⁻ (90 jours) obtenues lors d'incubations (t = 28°C).

Traitement	C			N		
	C / C total ^a (%)	C total ^b (t ha ⁻¹)	C 110 j ^b (t ha ⁻¹)	N / N total ^a (%)	N total ^b (kg ha ⁻¹)	N 90 j ^b (kg ha ⁻¹)
Tem 6M	5.27	2.33	1.10	5.40	121	118
Cho 6M	5.29	2.16	1.19	6.73	168	165
Pue 6M	6.14	2.77	1.24	9.49	216	215
Tem 18M J	4.74	1.65	1.23	7.15	200	197
Cho 18M J	6.61	2.50	1.61	7.60	213	212
Pue 18M J	5.31	1.96	1.35	7.93	228	227

^a : à partir des données du Tableau 5 (Q_a et Q_b) et du Tableau 7 (N₀ + N_{minmax}).

^b : à partir des données des Tableaux 5 et 7 et des données sur les stocks (Figure 2).

Les valeurs de ce compartiment sur les SC18MJ ne sont pas plus élevées que celles obtenues avec les SC6MJ. La jachère de 18 mois ne semble donc pas améliorer la disponibilité en C et N facilement minéralisable par rapport à la jachère de 6 mois. Ces systèmes se caractérisent par des apports très importants sur un temps très court. Le taux de décomposition des apports organiques peut-être inversement proportionnel aux quantités apportées (Broadbent et Bartholomew, 1998) et une source d'immobilisation en N sur un temps prolongé (Bayer et al., 2000). Ainsi une grande partie du C et du N serait bloquée à court terme, soit biologiquement au niveau des microorganismes, soit physiquement au niveau d'agrégats. Il est possible en effet que sous jachère une production plus importante de polysaccharides par les végétaux vivants et les microorganismes soit responsable d'une forte stabilité des microagrégats du sol (Martin, 1971). L'accumulation au niveau du sol de composés résistants à la décomposition (composés phénoliques) pourraient également être à l'origine d'une augmentation de MOS protégées (Martens, 2000). Les apports organiques des SC18MJ sont dominés par les feuilles de *Chromolaena* ou de *Pueraria* et elles contiennent

des teneurs en composés phénoliques non négligeables (Tableau 3) (Vanlauwe, et al., 1997 ; Tian et al., 1992 ; Tian et al., 1999 ;Tian et al., 2001).

Pour les SC6MJ, Pue 6M a un « compartiment à taux de renouvellement élevé » plus important en C et en N. Il représente une part plus importante du stock total. La capacité du traitement Pue 6M à fournir du N à l'échelle de la campagne est supérieure aux autres traitements et avoisine en quantités celles potentiellement disponibles pour les SC18MJ (Tableau 9). Cette capacité d'une légumineuse à améliorer l'offre en N d'origine organique a été souvent relevée (Cadisch et Giller, 1996; Scholes et al., 1994 ; Kuo et Jellum, 2000). Koutika et al. (2001) signalent que *Pueraria* par rapport à *Chromolaena* améliore la disponibilité en N du sol à court terme. L'offre en N du sol à court terme sous l'effet d'incorporation d'apports organiques pourrait être ainsi plus simplement dépendante de leur teneur en N pour des teneurs en lignine et polyphénols voisines (Frankenberger et Abdelmagid, 1985).

La modélisation de l'offre en N à court terme nécessiterait une étude de l'effet de l'incorporation au sol des différents composants des litières (feuilles, tiges, pailles), seuls et associés. Cela permettrait de séparer l'effet biochimique de chaque composant et d'évaluer les interactions possibles pouvant intervenir par la présence simultanée de matériaux organiques différenciés. L'utilisation de résidus marqués isotopiquement permettrait également d'associer les cinétiques de C et N minéralisées à des intensités de minéralisation et d'immobilisation brutes (Nicolardot et al., 1994; Trinsoutrot et al., 2000).

CONCLUSION GENERALE

RESULTATS AGRONOMIQUES

Le système de culture où alterne annuellement un cycle de maïs et une jachère à *Pueraria phaseoloides*, s'avère être à court terme et à moyen terme le plus performant :

- amélioration sensible des rendements après le premier cycle de jachère ;
- moindre enherbement (résultats non publiés) ;
- maintien les années suivantes d'un rendement en grains comparable aux systèmes de culture à 18 mois de jachère

Il est montré dans cette étude que l'offre du sol en N à court terme (campagne agricole) et à moyen terme (effets cumulés) est améliorée avec cette succession par rapport aux deux autres systèmes de culture à jachère de 6 mois. Cette performance vient notamment de la complémentarité existant entre le maïs et la légumineuse puisque le *Pueraria* géré en couverture vivante dans la culture reprend sa croissance bien avant la récolte en grimpant sur les tiges de maïs (résultats non publiés). Ainsi nos mobilisations moyennes en MS des parties aériennes de *Pueraria* sont généralement supérieures à celles relevées dans la littérature, soit en moyenne 5 t ha⁻¹ pour une période de 6 mois et 7 t ha⁻¹ de MS sur 18 mois (Tian et al., 2001). Nos fortes mobilisations de biomasse respectivement de 1996 à 1999, 11.4, 11.8, 3.4 et 7.5 t ha⁻¹ MS, soit en moyenne 8.5 t ha⁻¹, seraient également liées à la bonne fertilité du sol au départ.

Ce système de cultures associées « maïs-légumineuse volubile » est très ancien et largement pratiqué en zone tropicale (Gret, 1982). Il se rapproche du système « maïs-mucuna » utilisé par des agriculteurs d'Amérique Centrale dans des conditions de sols également fertiles au départ (Buckles et al., 1998). La fonction de la plante de couverture est à court terme de contrôler certaines adventices et notamment des graminées qui tendent au fil des années à envahir les parcelles (Autfray et Gbaka Tchetché, 1997). A moyen terme (5 à 10 années) la légumineuse permet de s'affranchir de l'utilisation d'engrais azoté et d'augmenter significativement les stocks en C et N (Triomphe, 1996).

Ce type de système de culture qui utilise un minimum d'intrants (herbicides, engrais P) constitue une voie intermédiaire entre le « système défriche-brûlis » et le « système mécanisé ». L'apport de phosphore au départ permet sans doute d'influer sur le comportement du maïs et de la légumineuse (Lal, 1995 ; Tian et al., 2001). Tian et al., (1999) suggèrent pour des systèmes de culture à niveau d'intensification intermédiaire l'importance du maintien d'une jachère d'au moins 6 mois pour préserver la fertilité du sol.

Bien que le compartiment du sol à taux de renouvellement élevé soit amélioré, la baisse constatée des stocks organiques totaux avec ce système de culture (- 520 kg ha⁻¹ N), soit de 14% environ par rapport au stock initial, peut nous amener à être prudent sur les extrapolations qui pourraient être faites concernant la durabilité de ce système de culture. Nos études d'évaluation sur les stocks en C et N comparés entre les jachères pluriannuelles de *Chromolaena* et ceux de la jachère forestière contiguë au dispositif expérimental (résultats non publiés), suggèrent que le niveau du stock organique sur le dispositif expérimental au début est proche d'un « optimum biologique ». En quatre années nous n'avons pas pu atteindre avec les systèmes de culture à 6 mois de jachère un niveau d'équilibre pour nos stocks C et N du sol (Greenland et Nye, 1959). Les essais de longue durée réalisés dans la région sur précédent forestier indiquent une baisse de 30% des stocks en N en

cinq années et aucune réponse à la fertilisation azotée avec une culture de maïs en système mécanisé (Gigou, 1992). Cela indiquerait :

- que le labour favorise la minéralisation du sol ;
- que nos systèmes sans travail du sol protègent les MOS ;
- une indépendance sur le moyen terme entre niveau des stocks organiques et fertilité du sol pour une culture de maïs.

Un des résultats majeurs de notre expérimentation a été de montrer que même sur un sol riche au départ en N, l'impact d'une légumineuse à moyen terme (3 à 4 années) s'avère important concernant la nutrition azotée du maïs grâce notamment à des apports annuels moyens sur cinq années de 170 kg ha⁻¹N. L'impact des litières et de la jachère ne se limite pas au simple effet de transfert des accumulations de N au niveau des biomasses et des MOS. *Pueraria* par rapport à *Chromolaena* améliore l'humidité du sol et donc le potentiel de minéralisation des matières organiques du sol en surface, par sa litière et une moindre activité racinaire.

IMPACTS DES LITIÈRES SUR L'OFFRE EN N

La comparaison faite sur des estimations (Tableau 1) entre les taux de minéralisation nette obtenus *in situ* du sol et de la litière, et le taux de minéralisation du sol en incubation, nous indique que la présence des litières a tendance à diminuer les taux de minéralisation sauf pour le traitement Pue 6M.

Tableau 1. Comparaison entre les estimations de taux (k) de minéralisation nette du sol et des litières obtenue *in situ* et le taux de minéralisation nette du sol (sans litières apportées) obtenu en incubation.

Traitements	k N <i>in situ</i> « Sol + litière » ^a (% an ⁻¹)		k N incubation « Sol seul » ^b (% an ⁻¹)
	1998	1999	1999
Tem 6m	2.4	7.0	5.4
Cho 6M	3.7	5.7	6.7
Pue 6M	5.2	7.5	9.4
Tem 18M	7.3	6.7	7.1
Cho 18M	2.7	5.3	7.6
Pue 18M	4.1	5.7	7.9

^a : données obtenues sur les minéralisations nettes au champ en saisons de culture et de jachère (Chapitre 2, Figure 3 et Tableau 5).

^b : données obtenues sur les minéralisations nettes lors d'incubations de sol de 85 jours (Chapitre 3, Tableau 9).

Pour les systèmes de culture à 18 mois de jachère la minéralisation nette au champ est plus élevée avec le système avec brûlis.

Bien que les différences dans la qualité des apports organiques entre *Chromolaena* et *Pueraria* soient modérées pour les systèmes de culture à 6 mois de jachère (rapports « lignine / N » légèrement supérieurs

avec les litières de *Chromolaena*), elles ont un impact important sur le taux de minéralisation du sol. Duxburry et al. (1989) signalent également que de faibles différences dans les cinétiques de décomposition des litières peuvent avoir un effet important sur la minéralisation du sol lorsque celles ci sont incorporées.

AUTRES RESULTATS

Effets des éléments grossiers sur les stocks en C et N

Le travail réalisé a eu l'originalité d'être réalisé sur des sols gravillonnaires développés sur une carapace. Bien que ces sols soient très largement répandus en Afrique de l'Ouest, ils ont été peu étudiés et l'effet de leur variabilité est rarement pris en compte dans les expérimentations agronomiques. Certaines études se sont intéressées à l'impact de leur présence sur les propriétés hydriques (Boa, 1988), ou organiques des sols (Lévêque, 1988).

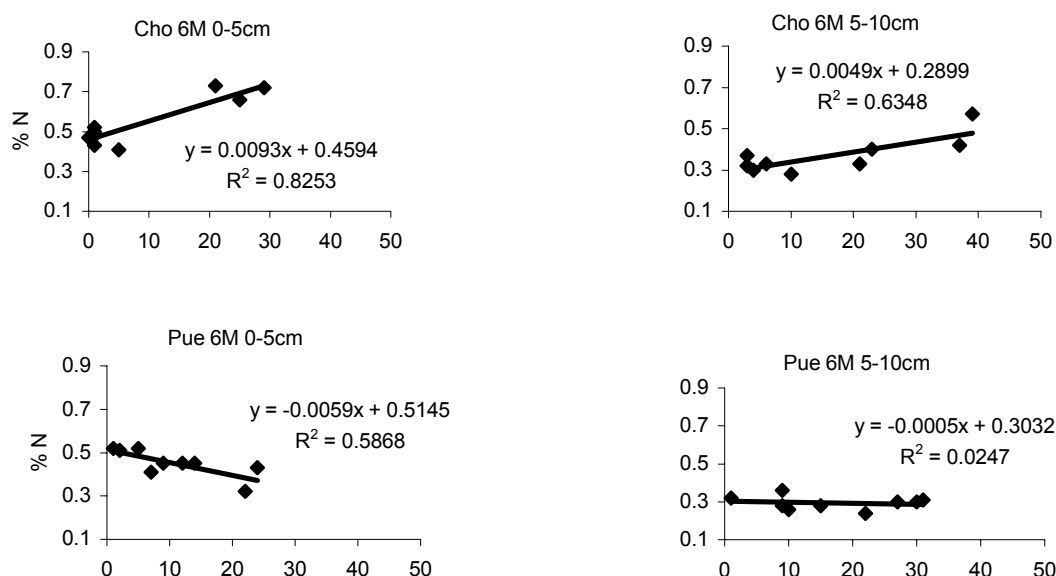


Figure 1. Relation entre volume des éléments grossiers (EG > 2 mm) et teneur en N total (%) de la terre fine du sol (< 2 mm) à deux profondeurs 0-5 cm et 5-10 cm pour les systèmes de culture à 6 mois de jachère à *Chromolaena* et *Pueraria*. Régressions significatives (P=0.05) : Cho 0-5 cm ; Pue 6M 0-5 cm ; Cho 6M 5-10 cm.

Les graphiques de la Figure 1 nous indiquent qu'après quatre années de gestion différenciée des sols, des corrélations apparaissent en surface (0-5 et 5-10 cm) entre le niveau d'éléments en EG exprimés en volume (d = 2.6 en moyenne pour les EG en surface) et le stock en N total. Alors que sur jachère à *Chromolaena* la relation est positive, c'est à dire que la présence des éléments grossiers accroît linéairement la concentration en N de la terre fine, l'effet avec *Pueraria* est inverse. La présence d'EG ne semble donc pas avoir d'effet significatif sur la production de biomasse aérienne et racinaire de *Chromolaena*, pour une proportion en volume des EG comprise entre 0 et 40%. L'effet des EG avec une jachère à *Chromolaena* se limiterait donc à un simple effet physique des effets cumulés des apports organiques au niveau de la terre fine (Lévêque,

1988). Par contre les mobilisations organiques avec *Pueraria* semblent être affectées par la présence des EG. *Chomolaena* semble mieux adaptée aux sols gravillonnaires que *Pueraria*.

Les systèmes racinaires

Des profils racinaires ont été réalisées avec *Chromolaena* et *Pueraria* en période de jachère jusqu'à 90 cm de profondeur (Figure 2). Les résultats présentés portent sur l'abondance des racines fines (taille < 0.5 mm).

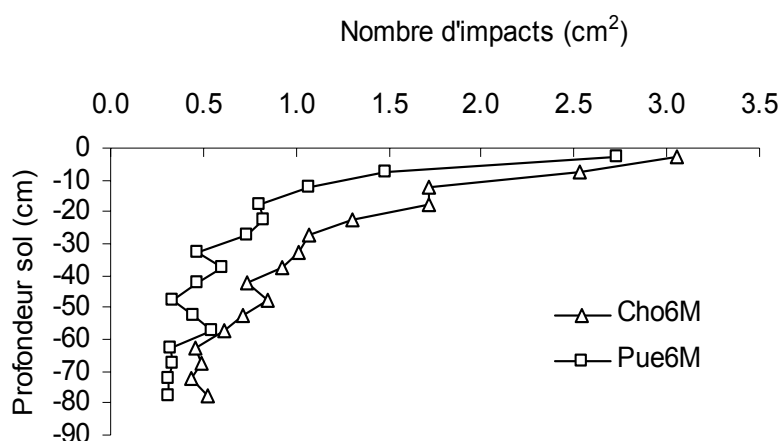


Figure 2. Profils racinaires (nombre d'impacts moyen / cm²) effectués sur *Chromolaena* et *Pueraria* en période de jachère (novembre 1998) sur les systèmes de culture à 6 mois de jachère. Racines de diamètre < 0.5 mm; 4 répétitions.

Les racines fines de *Chromolaena* sont plus nombreuses sur l'ensemble du profil que celles de *Pueraria*. Les racines fines présentent un taux de renouvellement élevé et peuvent contribuer fortement à l'entretien organique des sols (Noordwijk et al., 1997 ; Zech et al., 1997). Leur biomasse est cependant difficile à estimer car les cheveux et les mucilages racinaires peuvent représenter entre 20 à 50% de la biomasse totale (Paul et Clark, 1989). Tian et al. (1999) montrent que les biomasses mobilisées par les racines de taille inférieures à 2 mm sont comparables sur 0-15 cm pour ces deux espèces. Ces résultats confirment la meilleure adaptation de *Chromolaena* aux sols gravillonnaires et suggèrent que les stocks plus élevés obtenus avec *Chromolaena* seraient en partie influencés par les apports racinaires.

LIMITES DE L'ETUDE ET PERSPECTIVES

Il nous semble que pour pouvoir établir un bilan azoté et compléter ainsi le diagnostic sur la durabilité de nos agrosystèmes, des évaluations sur les pertes susceptibles d'intervenir à différentes étapes de l'année devraient être réalisées. Schroth et al. (2001) signale dans des systèmes agroforestiers sous climat humide une forte lixiviation des nitrates malgré une activité continue des systèmes racinaires. Nos dynamiques sur les litières et la minéralisation nette indiquent un risque de pertes par lixiviation au début de la saison des pluies.

Les techniques de travail minimal du sol sont sensées créer des conditions favorables aux processus de dénitrification sous l'effet d'accumulation des matières organiques en surface (Germon et Taureau, 1991). Malgré le fait que la présence des éléments grossiers rende nos sols très perméables (résultats non publiés), la création de microsites en anaérobie au niveau d'agrégats, notamment en fin de saison des pluies et la présence de nitrates pourrait créer des conditions favorables à une activité dénitrifiante (Scholes et al., 1994 ; Rosecrance et al., 2000).

Une estimation des pertes totales par lixiviation et dénitrification a été effectuée pour deux systèmes de culture (Tableau 2) en utilisant la méthode du bilan azoté (Ganry, 1990) avec comme hypothèses que (i) les effets se concentrent à la surface du sol (ii) les pertes par ruissellement sont négligeables (iii) la fixation asymbiotique n'existe pas ou a une très faible incidence (iv) les variations sur les stocks mesurées sont représentatives.

Tableau 2. Estimations sur les pertes totales (lixiviation + dénitrification) au niveau du sol par la méthode du bilan N au niveau de deux systèmes de culture (voir hypothèses précédentes).

Système de culture	Variation sur les stocks ^a (0-10 cm) (kg ha ⁻¹)	Entrées		Sorties	
		Fixation biologique ^b (kg ha ⁻¹)	Pluies ^c (kg ha ⁻¹)	Exportation récolte maïs ^b (kg ha ⁻¹)	Pertes totales ^d (kg ha ⁻¹)
Cho 6M	300	0	20	266	54
Pue 6M	520	300	20	324	516

^a : Chapitre 3, Figure 2.

^b : Chapitre 2, Tableau 8.

^c : Abbadie et al. 1992.

^d : pertes totales = (variations sur les stocks + entrées) – (sorties).

Ces estimations nous indiquent que le niveau de pertes susceptibles d'intervenir avec le système de culture avec *Pueraria* est beaucoup plus important par rapport au système de culture avec *Chromolaena*.

REFERENCES

- Abbadie, L., Lepage, M., 1989. The role of subterranean fungus comb chambers in soil nitrogen cycling in a preforest savanna (Côte d'Ivoire). *Soil Biology Biochemistry* 21, 1067-1071.
- Abbadie, L., Mariotti, A., Menaut, J. C., 1992. Independence of savanna grasses from soil organic matter for their nitrogen supply. *Ecology* 73, 608-613.
- Aber, J.D., Mellilo, J.M., 2001. *Terrestrial Ecosystems*. Academic Press (Eds.), San Diego, 556 p.
- Abiven, S., 2001. Effet de la qualité et de la localisation initiale dans le sol sur la décomposition de résidus de culture. Mémoire DEA Biosphère Continentale, Université Paris VI, 33 p.
- Adams, M.A., Attiwil, P.M., 1986. Nutrient cycling and nitrogen mineralisation in eucalypt forests of south-eastern Australia. *Plant Soil*, 92, 341-362.
- Adams, M.A., Polglase, P.J., Attiwil, P.M., Weston, C.J., 1989. In situ studies of nitrogen mineralisation and uptake in forest soils; some comments on methodology. *Soil Biology Biochemistry* 21, 3, 423-429.
- Adejuyigbe, C.O, Tian, G., Adeoye, G.O., 1999. Soil microarthropod populations under natural and planted fallows in southwestern Nigeria. *Agroforestry Systems* 47, 263-272.
- Akobundu, I.O., Okigbo, B.N., 1984. Preliminary evaluation of ground covers for use as live mulch in maize production. *Field Crops Research* 8, 177-186.
- Alves, B.J.R., Urquiaga, S., Cadisch, G., Souto, C.M., Boddey, R.M., 1993. In situ estimation of soil nitrogen mineralization. Dans : Mulongoy, K., Merckx, R. (Eds.), *Soil Organic Matter and Sustainability of Tropical Agriculture*, Wiley-Sayce, Chichester, pp. 297-305.
- Amado, M., Ladd, J.N., 1988. Essay for microbial biomass based on ninhydrin –reactive nitrogen extracts of fumigated soils. *Soil Biology Biochemistry* 20, 107-114.
- Amado, T.J.C., Mieilniczuk, J., Fernandes, F.L.F., 2000. Leguminosas e adubacao mineral como fontes de nitrogenio para o milho em sistemas de preparo do solo. *R. Bras. Ci. Solo* 24, 179-189.
- Ambus, P., Jensen, E.S., 2001. Crop residue management strategies to reduce N losses interaction with crop N supply. *Communication Soil Science Plant Analysis* 32, 981-996.
- Autfray, P., Gbaka Tchetché, H., 1997. L'utilisation de *Chomolaena odorata* pour fixer l'agriculture en zone forestière de Côte d'Ivoire. *Agriculture Développement* 13, 3-12.
- Autfray, P., Gbaka Tchetché, H., 1998. Semis de cultures vivrières dans des couvertures végétales en zone forestière de Côte d'Ivoire. Dans : *Gestion Agrobiologique des Sols et des Systèmes de Culture*, Cirad (Eds.) Antsirabe, 563-576.

- Aweto, A.O., Obe, O., Ayanniyi, O.O., 1992. Effects of shifting and continuous cultivation of cassava intercropped with maize on a forest alfisol in south-western Nigeria. *Journal Agricultural Science* 118, 195-198.
- Balesdent, J., Cenu, C., Balabane, M., 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil Tillage Research* 53, 215-230.
- Barrett, J.E., Burke, I.C., 2000. Potential nitrogen immobilization in grassland soils across a soil organic matter gradient. *Soil Biology Biochemistry* 32, 1707-1716.
- Bayer, C., Martin-Neto, L., Mielniczuk, J., Ceretta, C.A., 2000. Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from Southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. *Soil Tillage Research* 53, 95-104.
- Becker, M., Johnson, D. E., 1998. Legumes as dry season fallow in upland rice-based systems of West Africa. *Biology Fertility Soils* 27, 358-367.
- Becker, M., Johnson, D. E., 1999. The role of legume fallows in intensified upland rice-based systems of West Africa. *Nutrient Cycling Agrosystems* 53, 71-81.
- Bernhard-Reversat, F., 1996. Nitrogen cycling in tree plantations grown on a poor sandy savanna soil in Congo. *Applied Soil Ecology* 4, 161-172.
- Billaz, R., Hien, V., Segda, Z., Traoré, K., 2001. Systèmes de culture permanente à jachère de courte durée en zone tropicale. Dans : *La jachère en Afrique Tropicale*, Libbey, J., Eurotext (Eds.), Paris, 241-263.
- Birch, H. F., 1958. The effect of soil drying on humus decomposition and nitrogen availability. *Plant Soil* 10, 9-32.
- Boa, D., 1988. Modélisation de la relation entre le taux pondéral et le taux volumique des sols gravillonnaires. Thèse Pédologie ORSTOM, Abidjan, Côte d'Ivoire.
- Boddey, R. M., Peoples, M. B., Palmer, B., Dart, P. J., 2000. Use of the ^{15}N natural abundance technique to quantify biological nitrogen fixation by woody perennials. *Nutrient Cycling Agroecosystems* 57, 235-270.
- Boyer, J.N., Groffman, P.M., 1996. Bioavailability of water extractable organic carbon fractions in forest and agricultural soil profiles. *Soil Biology Biochemistry* 28, 783-790.
- Bremner, J.M., 1965. Inorganic forms of nitrogen. Dans: *Methods of soil analysis, part 2*, Black, C.A. (Eds.), Madison, 1179-1237.
- Broadbent, F. E., Bartholomew, W. V., 1948. The effect of quantity of plant material added to soil on its rate of decomposition. *Soil Science Society of America Proceedings* 13, 271-274.

Brouwers, R., 1999. Rapport de mission d'appui agro-pédologique aux recherches systèmes de culture en zone forestière de Côte d'Ivoire à Gambia, Cirad, Montpellier, 9 p.

Brown, S., Anderson, J.M., Woomer, P.L., Swift M.J., Barrios, E., 1994. Soil biological process in tropical ecosystems. Dans: Woomer, P.L. and Swift, M.J. (Eds.), *The Biological Management of Tropical Soil Fertility*, Wiley, Chichester, 15-46.

Buckles, D., Triomphe, B., Sain, G., 1998. Cover crops in hillside agriculture. Farmer innovation with *Mucuna*. IDRC (Eds.), Ottawa, Canada, 218 p.

Cabrera, M. L., 1993. Modelling the flush of nitrogen mineralization caused by drying and rewetting soils. *Soil Science Society of American Journal* 57, 63-66.

Cadisch, G., Giller, K.E., 1996. Estimating the contribution of legumes to soil organic matter build up in mixed communities of C₃/C₄ plants. *Soil Biology Biochemistry* 28, 823-825.

Cadisch, G., Imhof, H., Urquiaga, S., Boddey, R.M., Giller, K.E., 1995. Carbon turn-over ($\delta^{13}\text{C}$) and nitrogen mineralization potential of particulate light soil organic matter after rainforest clearing. *Soil Biology Biochemistry* 28, 1555-1567.

Calegari, A., Alexander, I., 1998. The effects of tillage and cover crops on some chemical properties of an oxisol and summer crop yields in southwestern Parana, Brazil. *Advances in Geoecology* 31, 1239-1246.

Chabalier, P.F., 1980. Utilisation de l'engrais par les cultures et pertes par lixiviation dans deux agrosystèmes de Côte d'Ivoire. Dans: *Nitrogen Cycling in West African Ecosystems*, Rosswall (Eds.), SCOPE/UNEP, Stockholm, 393-398.

Chabalier, P.F., 1986. Evolution de la fertilité d'un sol ferrallitique sous culture continue de maïs en zone forestière tropicale. *Agronomie Tropicale* 41, 179-191.

Chander, K., Goyal, S., Mundra, M.C., Kapoor, K.K., 1998. Organic matter, microbial biomass and enzyme activity of soils under different crop rotations in the tropics. *Biology Fertility Soils* 24, 306-310.

Chaussod, R., Zuvia, M., Breuil, M.C., Hetier J.M., 1992. Biomasse microbienne et statut organique des sols tropicaux : exemple d'un sol vénézuélien des Llanos sous différents systèmes de culture. *Cahiers. ORSTOM Pédologie*, 28, 1, 59-67.

Chotte, J.L., Feller, C., Vallony, M.J., Nicolardot, B., 1994. Disponibilité de l'azote dans les sols cultivés des Petites Antilles. *Agriculture Développement* 4, 23-30.

De Foresta, H., 1991. *Chromolaena odorata* and disturbance of natural succession after shifting cultivation: an example from Mayombe, Congo, Central Africa. Dans: Muniappan, F.P. (Eds.), *Second International Workshop on Biological Control of Chromolaena odorata*, Bogor, 23-41.

De Foresta, H., 1995. Systèmes de culture, adventices envahissantes et fertilité du milieu : le cas de *Chromolaena odorata*. Dans : Fertilité du Milieu et Stratégies Paysannes sous les Tropiques Humides, Cirad Ministère Coopération (Eds.), 236-244.

Delabarre, M., 1997. Incidence agronomique du développement de *Eupatorium odoratum* (composée) en Côte d'Ivoire. Thèse, Université Sciences, Abidjan, Côte d'Ivoire, 105 p.

De Row, A., 1994. Effect of fire on soil, rice, weeds and forest regrowth in a rainforest zone (Côte d'Ivoire). *Catena* 22, 133-152.

Dimes, J.P., McCoown, R.L., Saffigna, P.G., 1996. Nitrogen supply to no-tillage crops, as influenced by mulch type, soil type and season, following pasture leys in the semi-arid tropics. *Australian Journal Experimental Agriculture* 36, 937-946.

Dinesh, R., Suryanarayana, M.A., Nair, A.K., Chaudhuri, S.G., 2001. Leguminous cover crop effects on nitrogen mineralization rates and kinetics in soils. *Journal Agronomy Crop Science* 187, 161-166.

Dommergues, Y., Mangenot, F., 1970. Ecologie microbienne du sol. Masson (Eds), Paris, 620 p.

Duxbury, J.M., Smith, M.S., Doran, J.W., 1989. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. Dans: Coleman, Oades, Uehara (Eds.). *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. NifTAL Project, University of Hawai'i Press, Honolulu, HI, 33-67.

Fallavier, P., Egoumenides, C., 1975. A new automated spectrophotometric determination of nitrogen in soils. In *Euroanalysis II – Second European Conference on analytical chemistry*, 25-30 august, Budapest, Hongrie.

Feller, C., Beare, M.H., 1997. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma* 79, 69-116.

Feller, C., Fritsch, E., Poss, R., Valentin, C., 1991. Effet de la texture sur le stockage et la dynamique des matières organiques dans quelques sols ferrugineux et ferrallitiques. *Cahiers ORSTOM Pédologie* 26, 25-36.

Ferry, B., 1992. Distribution of the important litter decomposing termites (Isoptera) in the Western Ghats forests of Karnataka (India). *Pedobiologia* 36, 193-211.

Frankenberger, W.T., Abdelmagid, H.M., 1985. Kinetic parameters of nitrogen mineralisation rates of leguminous crops incorporated into soil. *Plant Soil* 87, 257-271.

Fusillier, J.L., 1991. La filière maïs en Côte d'Ivoire. Thèse Economie Rurale, Université Montpellier I, 277 p.

Ganry, F., 1990. Application de la méthode isotopique à l'étude des bilans azotés en zone tropicale sèche. Thèse Sciences Naturelles, Nancy, 355 p.

Germon, J.C., Taureau, J.C, 1991. Simplification du travail du sol et transformations de l'azote : conséquences sur le lessivage des nitrates. Perspectives Agricoles 162, 40-51.

Gigou, J., 1992. L'azote dans les systèmes de culture du nord et du centre de la Côte d'Ivoire. Dans : Biological Nitrogen Fixation and Sustainability of Tropical Agriculture, Mulongoy, Gueye, Spencer (Eds.), IITA, Ibadan, 377-393.

Gigou, J., 1995. La dynamique de la matière organique et de l'azote dans les sols tropicaux des zones humides et très humides. Dans : Fertilité du Milieu et Stratégies Paysannes sous les Tropiques Humides, Cirad Ministère Coopération (Eds.), 194-206.

Gillon, D., 1990. Les effets des feux sur la richesse en éléments minéraux et sur l'activité biologique du sol. Bull. For.Fr., 42, 295-302.

Gilot, C., Lavelle, P., Blanchart, E., Keli, J., Kouassi, P., Guillaume, G., 1995. Biological activity of soil under rubber plantations in Côte d'Ivoire. Acta Zoologica Fennica 196, 186-189.

Greenland, D.J., 1980. The nitrogen cycle in west africa: agronomic considerations. Dans: Nitrogen Cycling in West African Ecosystems, Rosswall (Eds.), SCOPE/UNEP, Stockholm, 73-80.

Greenland, D.J., Nye, P.H., 1959. Increases in the carbon and nitrogen contents of tropical soils under natural fallows. Journal Soil Science 10, 284-299.

Gret, 1982. Cultures associées en milieu tropical. Dossier Techniques et Développement, Paris, France.

Griffin, T., Liebman, M., Jemison, J.J., 2000. Cover crops for sweet corn production in a short-season environment. Agronomy Journal 92, 144-151.

Hainnaux, G., 1980. Le cycle de l'azote dans les agrosystèmes de l'Afrique de l'Ouest. Nitrogen Cycling in West African Ecosystems, Rosswall (Eds.), SCOPE/UNEP, Stockholm, 115-129.

Hainnaux, G., Talineau, J.C., Filloneau, C., Bonzon, B., 1978. Economie de l'azote sous cultures fourragères en milieu tropical humide. Plant Soil 49, 477-489.

Hairiah, K., Kasniari, D.N., Noordwijk, M., De Foresta, H., Syekhfani, 1998. Litterfall, above-and belowground biomass and soil, properties during the first year of a *Chromolaena* fallow. Agrivita 19, 184-192.

Haynes, R.J., 2000. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. Soil Biology Biochemistry 33, 211-219.

- Heal, O. W., Anderson, J. M. , Swift, M. J., 1997. Plant litter quality and decomposition: an historical review. Dans: Cadisch, G., Giller, K.E. (Eds.), *Driven by Nature, Plant Quality and Decomposition*, CAB, Wallingford, 3-30.
- Högberg, P., 1997. ¹⁵ N natural abundance in soil-plant systems. *New Phytologist* 137, 179-203.
- Ibewiro, B., Sanginga, N., Vanlauwe, B., Merckx, R., 2000. Nitrogen contributions from decomposing cover crop residues to maize in a tropical derived savanna. *Nutrient Cycling Agrosystems* 57, 131-140
- Ibewiro B., Vanlauwe B., Sanginga N., Merckx R., 1997. Nitrogen contributions of roots to succeeding maize in herbaceous legume cropping systems in a tropical derived savanna. Dans: *Soil Fertility Management in West African Land Use Systems Proceedings Workshop 4-8/3/97*, Icrisat, Niamey, Niger, 123-128.
- Isaac, L., Wesley Wood, C., Shannon, D.A., 2000. Decomposition and nitrogen release of prunings from hedgerow species assessed for alley cropping in Haïti. *Agronomy Journal* 92, 501-511.
- Jackson, L.E., 2000. Fates and losses of nitrogen from a nitrogen-15-labeled cover crop in an intensively managed vegetable system. *Soil Sci.Soc.Am.J.* 64, 1404-1412.
- Jenny, H., Gessel, S.P., Bingham, F.T., 1981. Comparative study of decomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions. *Tropical Ecology* 68, 419-432.
- Juo, A.S.R., 1980. Nitrogen profile in a kaolinitic alfisol under fallow and continuous cultivation. Dans: *Nitrogen Cycling in West African Ecosystems*, Rosswall (Eds.), SCOPE/UNEP, Stockholm, 181-189.
- Juo, A.S.R., Kang, B.T., 1989. Nutrient effects of modification of shifting cultivation in West Africa. Dans: *Mineral Nutrients in Tropical Forest and Savanna Ecosystems*, Proctor, J. (Eds.), Oxford, Blackwell 289-300.
- Kandeler, E., et al, 1995. *Methods in soil biology*. Schninner, F., Ohlinger, R., Kandeler, E., Margesin, R. (Eds.).
- Kang, B. T., 1993. Changes in soil chemical properties and crop performance with continuous cropping on an Entisol in the humid tropics. Dans: Mulongoy, K., Merckx, R. (Eds.), *Soil Organic Matter and Sustainability of Tropical Agriculture*, Wiley-Sayce, Chichester, 297-305.
- King, H.G.C., Heath, G.W., 1967. The chemical analysis of small samples of leaf material and the relationship between the disappearance and composition of leaves. *Pedobiologia*, 7, 192-197.
- Koutika, L.S., Hauser, S., Henrot, J., 2001. Soil organic matter assessment in natural regrowth, *Pueraria phaseoloides* and *Mucuna pruriens* fallow. *Soil Biology Biochemistry* 33, 1095-1101.
- Kuo, S., Jellum, E.J., 2000. Long-term winter cover cropping effects on corn (*Zea mays* L.) production and soil nitrogen availability. *Biology Fertility Soils* 31, 470-477.

Kuzyakov, Y., Friedel, J.K., Stahr, K., 2000. Review of mechanisms and quantification of priming effects. *Soil Biology Biochemistry* 32, 1485-1498.

Kwabiah, A. B., Voroney, R. P., Palm, C. A., 1999. Inorganic fertilizer enrichment of soil: effect on decomposition of plant litter under subhumid tropical conditions. *Biology Fertility Soils* 30, 224-231.

Lal, R., 1995. Tillage Systems in the Tropics, Management Options and Sustainability Implications, FAO (Eds.), Rome, 206 p.

Lavelle, P., Blanchart, E., Martin, A., Martin, S., 1993. A Hierarchical Model for Decomposition in Terrestrial Ecosystems, Application to Soils of the humid tropics. *Biotropica* 25, 130-150.

Lavelle, P., Spain, A.V. 2002. Soil Ecology. Kluwer (Eds.), Londres, 540 p.

Lehmann, J., Schroth, G., Zech, W., 1995. Decomposition and nutrient release from leaves, twigs and roots of three alley-cropped tree legumes in central Togo. *Agroforestry Systems* 29, 21-36.

Lepage, M.G., 1980. Foraging of *Macrotermes spp.* in the tropics. Dans : Jaisson P. (Eds.), Social Insects in the Tropics, International Union for the Study of Social Insects and the Sociedad Mexicana de Entomologia, Mexico, 205-218.

Lepage, M., Abbadie, L., Mariotti, A., 1993. Food habits of sympatric termite species (*Isoptera, Macrotermitinae*) as determined by stable carbon isotope analysis in a Guinean savanna (Lamto, Côte d'Ivoire). *Journal of Tropical Ecology* 9, 303-311.

Lévêque, A., 1988. L'influence de paramètres physiques sur la matière organique des sols ferrallitiques du nord de la Côte d'Ivoire. *Cahiers ORSTOM Pédologie* 4, 363-365.

Luna-Orea, P., Wagger, M. G., Gumpertz, M. L., 1996. Decomposition and nutrient release dynamics of two tropical legume cover crops. *Agronomy Journal* 88, 758-764.

Luizao, R.C.C., Costa, E.S., Luizao, F.J., 1999. Changes in microbial biomass and in soil nitrogen transformations in a sequence of pastures with different ages after slash and burning of a forest in Central Amazonia. *Acta Amazonica* 29, 43-56.

Marigo, G., 1973. Sur une méthode de fractionnement et d'estimation des composés phénoliques chez les végétaux. *Analysis*, 2, 106-110.

Mariotti, A., 1983. Atmospheric is a reliable standard for natural ¹⁵N abundance measurements. *Nature* 303, 685-687.

- Martens, D.A., 2000. Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration. *Soil Biology Biochemistry* 32, 361-369.
- Mary, B., Guérif, M., 1994. Intérêts et limites des modèles de prévision de l'évolution des matières organiques et de l'azote dans le sol. *Cahiers Agricultures*, 247-257.
- Mary, B., Recous, S., 1994. Measurement of nitrogen mineralisation and immobilisation fluxes in soil as a means of predicting net mineralisation. *European Journal Agronomy* 3, 4, 291-300.
- Mary, B., Recous, S., Darwis, D., Robin, D., 1996. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. *Plant Soil* 181, 71-82.
- Mathieu, C., Pielain, F., 1998. Analyse physique des sols : méthodes choisies. Lavoisier (Eds.), 275 p.
- Mengel, K., 1996. Turn-over of organic nitrogen in soils and its availability to crops. *Plant Soil* 181, 83-93.
- Mollard, E., 1993. Quelques déterminants techniques et sociaux de la jachère en Afrique de l'Ouest forestière. Dans : *La jachère en Afrique de l'Ouest*, ORSTOM (Eds.), Montpellier, France, 171-178.
- Mulongoy, K., 1986. Microbial biomass and maize nitrogen uptake under a *Psophocarpus palustris* live-mulch grown on a tropical Alfisol. *Soil Biology Biochemistry* 4, 395-398.
- Myers, R. J. K., Palm, C. A., Cuevas, E., Gunatilleke, I. U. N., Brossard M. B., 1994. The synchronisation of nutrient mineralisation and plant nutrient demand. Dans: Woomer, P.L., Swift, M.J. (Eds.), *The Biological Management of Tropical Soil Fertility*, Wiley, Chichester, 81-116.
- Nacro, H.B., 1997. Hétérogénéité de la matière organique dans un sol de savane humide (Lamto, Côte d'Ivoire). Thèse Ecologie, Paris VI, 302 p.
- Nacro, H.B., Benest, D., Abbadie, L., 1996. Distribution of microbial activities and organic matter according to particle size in a humid savanna (Lamto Côte d'Ivoire). *Soil Biology Biochemistry* 28, 1687-1697.
- Nicolardot, B., Mary, B., Houot, S., Recous, S., 1996. La dynamique de l'azote dans les sols cultivés. Dans : *Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes*, Inra (Eds.), Paris, 87-103.
- Nicolardot, B., Molina, J.A.E., Allard, R., 1994. C and N fluxes between pools of soil organic matter: model calibration with long-term incubation data. *Soil Biology Biochemistry* 26, 235-243.
- Noordwijk, J.K., Cerri, C., Woomer, P.L., Nugroho, K., Bernoux, M., 1997. Soil carbon dynamics in the humid tropical forest zone. *Geoderma* 79, 187-225.

Obatolu, C. R., Agboola, A. A., 1993. The potential of Siam weed (*Chromolaena odorata*) as a source of organic matter for soils in the humid tropics. Dans: Mulongoy, K., Merckx, R. (Eds.), Soil Organic Matter and Sustainability of Tropical Agriculture, Wiley-Sayce, Chichester, 89-99.

Oliver, R., Ganry, F., 1994. Etude des modifications de fertilité induites par une jachère arborée : cas de la zone forestière de centre Côte d'Ivoire. Cirad, Montpellier, 27 p.

Oswald, M., 1997. Recomposition d'une société au travers de plusieurs crises : la société rurale Bété (Côte d'Ivoire). Thèse INA PG, Paris, 290 p.

Parton, W.J., Wooster, P.L., Martin, A., 1994. Modelling soil organic matter dynamics and plant productivity in tropical ecosystems. Dans: Wooster, P.L., Swift, M.J. (Eds.), The Biological Management of Tropical Soil Fertility, Wiley, Chichester, 171-188.

Paul, E. A., Clark, F. E., 1989. Soil Microbiology and biochemistry. Academic Press (Eds.), San Diego, 275 p.

Peoples, M.B. et Herridge, D.F., 1990. Nitrogen fixation by legumes in tropical and subtropical agriculture. Advances in Agronomy 44, 155-223.

Raison, R.J., 1979. Modification of the soil environment by vegetation fires with particular reference to nitrogen transport : a review. Plant Soil 51, 73-108.

Raison, R.J., Connell, M.J. Khanna, P.K., 1987. Methodology for studying fluxes of soil mineral-N in situ. Soil Biology Biochemistry 19, 521-530.

Raunet, M., Séguy, L., Fovet-Rabot, C., 1998. Semis direct sur couverture végétale permanente du sol: de la technique au concept. Dans : Gestion Agrobiologique des Sols et des Systèmes de Culture, Cirad, Anstirabe, Madagascar, 41-49.

Reicosky, D.C., Forcella, F., 1998. Cover crop and soil quality interactions in agrosystems. Soil Water Conservation 53, 224-229.

Rosecrance, R.C., Carty, G.W., Shelton, D.R., Teasdale, J.R., 2000. Denitrification and N mineralization from hairy vetch and rye cover crop monocultures and bicultures. Plant Soil 227, 283-290.

Rosemeyer, M., Viaene, N., Swartz, H., Kettler, J., 2000. The effect of slash/mulch and alley cropping bean production systems on soil microbiota in the tropics. Applied Soil Ecology 15, 49-59.

Ruf F., 1984. Quelle intensification en économie de plantation ivoirienne ? Histoire, systèmes de production et politique agricole. Agronomie Tropicale 39, 367-382.

Sakala, W.D., Cadisch G., Giller K.E., 2000. Interactions between residues of maize and pigeonpea and mineral N fertilizers during decomposition and N mineralization. Soil Biology Biochemistry 32, 679-688.

Salako, F.K., Tian, G., 2001. Litter and biomass production from planted and natural fallows on a degraded soil in southwestern Nigeria. *Agroforestry Systems* 51, 239-251.

Sanchez, P.A., 1982. Nitrogen in shifting cultivation systems of Latin America. *Plant Soil* 67, 91-103.

Schroth, G., Salazar, E., Da Silva, J.P., 2001. Soil nitrogen mineralization under tree crops and a legume cover crop in multi-strata agroforestry in Central Amazonia: spatial and temporal patterns. *Experimental Agriculture* 37, 253-267.

Sébillotte, M., 1993. La jachère. Eléments pour une théorie. Dans : *La jachère en Afrique de l'Ouest*, ORSTOM (Eds.), Montpellier, 89-111.

Séguy, L., 2001. Systèmes de culture et dynamique de la matière organique. Dans : *First World Congress on Conservation Agriculture*, Madrid, 1-5/10/01.

Séguy, L., Bouzinac, S., 2001. Cultiver durablement et proprement les sols de la planète en semis direct. Dans : *First World Congress on Conservation Agriculture*, Madrid, 1-5/10/01.

Scholes, R.J., Dalal, R., Singer, S., 1994. Soil physics and fertility: the effect of water, temperature and texture. Dans: Woomer P.L. and Swift M.J. (Eds.), *The Biological Management of Tropical Soil Fertility*, Wiley, Chichester, 117-136.

Schomberg, H.H., Cabrera, M.L., 2001. Modeling in situ N mineralization in conservation tillage fields: comparison of two versions of the Ceres nitrogen submodel. *Ecological Modeling* 145, 1-15.

Seneviratne, G., 2000. Litter quality and nitrogen release in tropical agriculture: a synthesis. *Biology Fertility Soils* 31, 60-64.

Shearer, D., Kohl, H., 1986. N₂ fixation in field settings: estimations based on natural ¹⁵N abundance. *Australian Journal of Plant Physiology* 13, 699-756.

Shearer, G., Kohl, D. H., Chien, S. H., 1978. The nitrogen-15 abundance in a wide variety of soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 42, 899-902.

Singh, K.P., Singh, P.K., Tripathi, S.K., 1999. Litterfall, litter decomposition and nutrient release patterns in four native tree species raised on coal mine spoil at Singrauli, India. *Biology Fertility Soils* 29, 371-378.

Slaats, J. J. P., 1995. *Chromolaena odorata* fallow cropping systems. An agronomic assessment in South-West Ivory Coast. Wageningen Agricultural University Thesis, Wageningen, 175 pp.

Smith, J.L., 1992. Cycling of nitrogen through microbial activity. Dans: *Soil biology, effects on soil quality* Hatfield Stewart (Eds.), Boca Raton, 91-120.

Smith, J.L., Bezdicek, D.F., Lynch, J.M., 1994. Soil organic matter dynamics and crop residue management. Dans: Soil Microbial Ecology, Metting, F.B. (Eds.), New York, 65-94.

Stanford, G., Smith, S.J., 1972. Nitrogen mineralisation potential of soils. Soil Science Society American Journal 36, 465-472.

Swift, M. J., Heal, O. W., Anderson, J. M., 1979. Decomposition in Terrestrial Ecosystems. Studies in Ecology 5. Blackwell, Oxford, 372 p.

Thomas, R. J., Asakawa, N. M., 1993. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. Soil Biology Biochemistry 25, 1351-1361.

Tian, G., Brussaard, L., Kang, B. T., 1993. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions: effects on soil fauna. Soil Biology Biochemistry 25, 731-737.

Tian, G., Brussaard, L., Kang, B. T., 1995. Breakdown of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions: effects of earthworms and millipedes. Soil Biology Biochemistry 27, 277-280.

Tian, G., Brussaard, L., Kang, B. T., and Swift, M. J., 1997. Soil fauna-mediated decomposition of plant residues under constrained environmental and residue quality conditions. Dans: Driven by Nature, Plant Quality and Decomposition Cadisch, G., Giller, K.E. (Eds.), CAB, Wallingford, 125-134.

Tian, G., Hauser, S., Koutika, L. S., Ishida, F., Chianu, J. N., 2001. *Pueraria* cover crop fallow systems: benefits and applicability. Resource and Crop Management Division, International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Ibadan, Nigeria, 137-155.

Tian, G., Kang, B. T., 1992. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions-decomposition and nutrient release. Soil Biology Biochemistry 24, 1051-1060.

Tian, G., Kang, B. T., 1998. Effects of soil fertility and fertilizer application on biomass and chemical compositions of leguminous cover crops. Nutrient Cycling Agrosystems 51, 231-238.

Tian, G., Kang, B. T., Brussaard, L., 1992. Effects of chemical composition on N, Ca, and Mg release during incubation of leaves from selected agroforestry and plant fallow species. Biogeochemistry 16, 103-119.

Tian, G., Kang, B. T., Brussaard, L., 1993. Mulching effect of plant residues with chemically contrasting on maize growth and nutrients accumulation. Plant Soil 153, 179-187.

Tian G., Kolawole G.O., Kang B.T., Kirchhof G., 2000. Nitrogen fertilizer replacement indexes of legume cover crops in the derived savanna of West Africa. Plant Soil, 224, 287-296.

Tian , G., Kolawole, O., Salako, F.K, Kang, B.T., 1999. An improved cover crop fallow system for sustainable management of low activity clay soils of the tropics. *Soil Science* 164, 671-682.

Tiessen, H., Shang, C., 1998. Organic-matter turnover in tropical land-use systems. Dans: *Carbon and nutrient dynamics in natural and agricultural tropical ecosystems*, Bergström, L., Kirchmann, H. (Eds.), CAB International, Oxon, 1-14.

Tomassone, R., Audrain, S., Lesquoy, E., Millier, C., 1992. La régression: nouveaux regards sur une ancienne méthode statistique, Masson (Eds.), Paris.

Trinsoutrot, I., Recous., S., Mary, B., Nicolardot, B., 2000. C and N fluxes ^{13}C and ^{15}N *Brassica napus*: effects of residue composition and N content. *Soil Biology Biochemistry* 32, 1717-1730.

Triomphe, B., 1996. Seasonal nitrogen dynamics and long-term changes in soil properties under the Mucuna/Maize cropping system on the hillsides of Northern Honduras, Cornell University Thesis, Cornell, 217 p.

Vanlauwe, B., Diels, J., Sanginga, N., Merckx, R., 1997. Residue quality and decomposition: an unsteady relationship ? Dans: Cadisch, G., Giller, K.E. (Eds.), *Driven by Nature, Plant Quality and Decomposition*, CAB, Wallingford, 157-166.

Van Reuler, H., Janssen, B.H., 1993. Nutrient fluxes in the shifting cultivation system of south-west Côte d'Ivoire. *Plant Soil* 154,169-177.

Van Soest, P. J., 1963. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds II. a rapid method for the determination of fiber and lignin. *J. Assn. Official Agr. Chem.* 46, 829-835.

Vesterager, J.M., Osterby, S., Jensen, E.S., Schjoerring, J.K., 1995. Symbiotic N_2 -fixation by the cover crop *Pueraria phaseoloides* as influenced by litter mineralization. *Plant Soil* 177, 1-10.

Wachendorf, C., Irmiler, U., Blume, H. P., 1997. Relationships between litter fauna and chemical changes of litter during decomposition under different moisture conditions. Dans: Cadisch, G., Giller, K.E. (Eds.), *Driven by Nature, Plant Quality and Decomposition*, CAB, Wallingford, 135-144.

Wieder, R. K., Lang, G. E., 1982. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. *Ecology* 63, 1636-1642.

Wilson, T.C, Paul, E.A., Harwood, R.R., 2001. Biologically active soil organic matter fractions in sustainable cropping systems. *Applied Soil Ecology* 16, 63-76.

Wong, M.T.F., Nortcliff, S., 1995. Seasonal fluctuations of native available N and soil management implications. *Fertilizer Research* 42, 13-26.

Woomer P.L., Martin A., Albrecht A., Resck D.V.S. and Scharpenseel, 1994. The importance of soil organic matter in the tropics. Dans: Woomer, P.L., Swift M.J. (Eds.), The Biological Management of Tropical Soil Fertility, Wiley, Chichester, 47-80.

XLSTAT, Addinsoft, 2001. Data analysis and statistical solutions for Microsoft Excel.

Yace, I., 1987. Carte géologique de la region de Toumodi-Divo 1/200.000. Ministère de l'Education Nationale, Côte d'Ivoire.

Yoneyama, T., Muraoka, T.; Murakami, T.; Boonkerd, N. 1993. Natural abundance of ^{15}N in tropical plants with emphasis on tree legumes. Plant Soil 153, 295-304.

Zaharah, A. R., Bah, A. R., 1999. Patterns of decomposition and nutrient release by fresh *Gliricidia* (*Gliricidia sepium*) leaves in an ultisol. Nutrient Cycling Agrosystems 55, 269-277.

Zech W., Senesi N., Guggenberger G., Kaiser K., Lehmann J., Miano T.M., Miltner A., Schroth G., 1997. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. Geoderma 79, 117-161.

Résumé

Un dispositif agronomique pérennisé entre 1995 et 1999 avec des systèmes de culture de maïs à couvertures végétales a été installé dans la zone écologique à forêt semi-décidue de Côte d'Ivoire. L'offre en N d'origine organique est étudiée dans le cadre de systèmes de culture de maïs, avec une durée de jachère de 6 mois (SC6MJ) et 18 mois (SC18MJ). Les jachères sont occupées soit par *Chromolaena odorata* (subspontanée), soit par *Pueraria phaseoloides* (introduite). Ces quatre systèmes sont comparés à deux témoins, un sans *Chromolaena* pour les SC6MJ et un avec brûlis de *Chromolaena* pour les SC18MJ. Les systèmes à couvertures végétales sont gérés en couvertures vivantes avec des herbicides et leur pérennité est assurée par une reprise de croissance des espèces avant la récolte de la céréale. Les systèmes à SC6MJ bénéficient d'une fertilisation modérée en phosphore. L'étude réalisée pose comme hypothèses de départ que (i) les déterminants de l'offre à court terme (cycle cultural) et à moyen terme (effets cumulés) dépendront principalement des quantités et de la qualité des litières de surface d'origine des jachères (ii) ces effets se concentreront à la surface du sol.

Le potentiel de minéralisation des litières au laboratoire est corrélé avec leur rapport C/N, plus faible pour *Pueraria* (C/N entre 20 à 23) que pour *Chromolaena* (C/N entre 25 à 43). En 1998 la vitesse de disparition des litières suivie avec des « sacs de décomposition » est beaucoup plus rapide qu'en 1999 en relation au début du cycle de décomposition avec le régime pluviométrique. Les deux années la quantité de litières présentes après la coupe détermine le taux de décomposition à moyen terme des litières. Ces dynamiques, modélisées sur deux années, permettent de distinguer un compartiment de litières à disparition rapide et un compartiment à disparition lente. La comparaison des pertes en C dans des « sacs de décomposition » à maille différente montre que l'activité de la mésofaune et de la macrofaune du sol pourrait être responsable de la disparition de 50 % des litières au début du processus de décomposition et de 35% à la fin du processus de décomposition. Leur action de fragmentation et d'incorporation au sol des litières (meules des termites champignonnistes situées à la surface du sol) permet une disparition comparativement plus rapide des litières de *Chromolaena* que celles de *Pueraria*. L'application des modèles aux données obtenues sur les mobilisations en N des jachères en relation avec les besoins de la culture en N indique (i) un risque « d'asynchronie » en début de cycle (ii) une offre insuffisante en fin de cycle pour les SC6MJ (iii) peu de différenciation entre l'offre de *Chromolaena* et celle de *Pueraria*.

L'offre en N *in situ* du sol en surface (0-10 cm) en 1998 et 1999, estimée pendant des périodes de 90 jours durant le cycle du maïs par des mesures et des incubations de sol, est corrélée pour les SC6MJ avec les mobilisations en N du maïs dans les parties aériennes. C'est le traitement avec *Pueraria* qui les deux années satisfait le mieux les besoins en N de la culture et cette offre est comparable à celle des SC18MJ. L'offre en N varie peu selon les traitements des SC18MJ. Le régime pluviométrique intervient (i) à une échelle pluriannuelle, en déterminant, l'intensité du pic de minéralisation en N minéral du sol et les accumulations en N dans les parties aériennes des jachères (ii) à l'échelle de la campagne en interaction avec les litières en surface et l'activité des systèmes racinaires des couvertures végétales. La litière de *Pueraria* semble mieux conserver l'humidité du sol et le système racinaire de *Chromolaena* mobiliser de plus fortes quantités d'eau. En situations hydriques limitantes, la minéralisation nette est corrélée aux humidités de sol. Les litières semblent être à l'origine en 1998 de l'augmentation de la biomasse microbienne du sol en surface créant ainsi une source potentielle d'immobilisation temporaire de N. En 1998 l'offre en N estimée par minéralisation nette indique une meilleure synchronie avec les besoins de la culture malgré une pluviométrie plus abondante en début de cycle par rapport en 1999. Une étude utilisant l'abondance naturelle ^{15}N permet d'estimer que la litière de *Pueraria* peut contribuer fortement à la nutrition azotée de la culture, de 30 à 41% en 1998 et de 64 à 87% en 1999 dans le cadre du système de culture à jachère de 6 mois.

Les différenciations sur les matières organiques du sol (MOS) indiquent un début d'effet sur les stocks évalués sur 0-10 cm en moyenne à $2.34 \text{ t ha}^{-1} \text{ N}$ pour les SC6MJ et en moyenne à $2.83 \text{ t ha}^{-1} \text{ N}$ pour les SC18MJ. Pour les SC6MJ la différence obtenue entre les apports et les pertes sur quatre années suggère que *Chromolaena* conserve mieux les stocks en C et N que *Pueraria*. La comparaison avec une jachère forestière située hors dispositif indique que la disponibilité en matériaux facilement minéralisables dans nos agrosystèmes est (i) réduite en fin de saison des pluies (ii) diminuée par la pratique du brûlis (iii) peu augmentée par la pratique de la jachère. Les études sur des incubations de longue durée (106 et 85 jours) montrent des effets significatifs sur les modélisations faites par ajustement aux points expérimentaux sur les cinétiques de respiration et de minéralisation nette cumulées (exprimées en proportion par rapport au C et N total du sol). Elles permettent d'identifier d'importants facteurs de différenciation au niveau du compartiment des MOS à taux de renouvellement élevé. Pour les SC6MJ ce compartiment représente une part plus importante avec *Pueraria*, certainement en relation directe avec des apports cumulés de plus grande qualité biochimique (rapport lignine / N). La durée de la jachère n'améliore pas la disponibilité en N facilement minéralisable indiquant ainsi un blocage de C et N au niveau du sol de nature physique et/ou biochimique.